

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**DISSENY D'UN XASSÍS DE COMPETICIÓ PER UNA
MOTOCICLETA 250CC 4T**



Memòria i Annexos

Autor:	Joan Marc Escudero Vericat
Director:	Daniel Di Capua
Departament:	RMEE
Convocatòria:	Novembre 2017

Resum

Amb aquest projecte, l'objectiu transcorre amb el primer disseny i càlcul estructural d'un xassís d'una motocicleta de competició de 250cc 4T. Per dur a terme aquest disseny, inicialment s'explicarà de manera teòrica l'història dels diferents tipus de xassís que s'han fabricat, la recollida de dades pels paràmetres de disseny d'aquest tipus de motocicleta en concret i finalment el procés de dimensionament i disseny de l'estructura del xassís amb 3D.

La part final del disseny 3D s'ha emprat el software d'enginyeria Solidworks i el seu mòdul d'elements finits per tal de verificar una solució òptima i viable, tot tenint en compte que es tracta d'un primer prototip. Tan mateix caldria fer un primer prototip real per poder testear-lo sobre un circuit, per tal de comprovar la fase de disseny i executar les iteracions posteriors necessàries d'optimització del xassís.

Resumen

Con este proyecto, el objetivo transcurre con el primer diseño y calculo estructural de un chasis de una motocicleta de 250cc 4T. Para hacer este diseño, inicialmente se explicará de manera teórica la historia de los diferentes tipos de chasis que se han fabricado, la recogida de datos para los parámetros de diseño de este tipo de motocicleta en concreto y finalmente el proceso de dimensionado y diseño de la estructura del chasis con 3D.

La parte final del diseño 3D se ha utilizado el software de ingeniería Solidworks y su módulo de elementos finitos para poder verificar una solución óptima y viable, teniendo en cuenta que se trata de un primer prototipo. Sin embargo habría que hacer un primer prototipo real para poder testarlo en el circuito, para poder comprobar la fase de diseño y ejecutar las iteraciones posteriores necesarias de optimización del chasis.

Abstract

The main goal of this project is to define a first design and structural calculation of a racing motorcycle chassis of 250cc four-stroke engine. The following chapters explain the different types of chassis made throughout the history as well as the parameters data collection methodology followed for the design of this particular type of motorcycle. The procedure of measuring and design of the chassis 3D framework is also defined.

By the use of Solidworks engineering software and its finite element plug-in, the feasibility and optimization of the present solution has been tested. However, it has to be pointed out that this is only a first prototype. Hence, it would be necessary to make a real prototype and test it on a circuit in order to check the design phase and to corroborate the chassis optimization.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
1. PREFACI	7
1.1 Objecte	7
1.2 Abast	8
1.3 Motivació	8
2. INTRODUCCIÓ	10
2.1 Reglament tècnic	11
2.1.1 Dimensions	11
2.1.2 Pes	14
2.2 Introducció històrica	14
2.2.1 Xassís tubular	16
2.2.2 Xassís de biga central	19
2.2.3 Xassís amb motor autoportant	20
2.2.4 Xassís monocasc	21
2.2.5 Xassís de doble biga	22
3 ELECCIÓ DEL XASSÍS	24
3.1 Estudi per la selecció del tipus de xassís	24
3.1.1 Anàlisi de les necessitats	25
3.1.2 Avaluació i selecció del tipus de xassís	27
3.2 Geometries	29
3.2.1 Avanç	30
3.2.2 Angle de llançament	33
3.2.3 Distància entre eixos	36
3.2.4 Moviments angulars a la motocicleta	38
3.2.4.1 Capcineig	38
3.2.4.2 “Guiñada”	38
3.2.4.3 “Alabeo”	39
3.2.5 Diàmetre exterior dels pneumàtics	39
3.2.6 Pes i posició	40
3.2.6.1 Tracció	41
3.2.6.2 Angle d’inclinació	42
3.2.7 Elecció de Geometries	42

4	DISSENY DEL XASSÍS	44
4.1	Realització del disseny	45
5	ANÀLISIS DELS ESFORÇOS SOBRE LA MOTOCICLETA	47
5.1	Forces durant la màxima frenada amb la roda davantera	48
5.2	Forces durant la màxima frenada amb la roda del darrere	50
5.3	Forces durant la màxima acceleració	51
5.4	Forces durant la màxima velocitat de pas per corba	52
6	ESTUDI I ELECCIÓ DEL MATERIAL	55
6.1	Estudi i selecció del material	56
6.1.1	Titani	56
6.1.2	Magnesi	57
6.1.3	Acer al crom-molibdè	57
6.1.4	Fibra de carboni	57
6.1.5	Acer	58
6.1.6	Alumini	58
6.1.7	Selecció del material definitiu del xassís	59
6.2	Anàlisi de les propietats i elecció dels aliatges d'alumini	59
6.2.1	Carga a trencament o resistència a la tracció	60
6.2.2	Límit elàstic	61
6.2.3	Allargament	63
6.2.4	Duresa	64
6.2.5	Selecció d'aliatges	66
6.3	Descripció de l'aliatge seleccionat	66
6.3.1	Aliatge 6082-T6	66
7	ANÀLISIS PER ELEMENTS FINITS	68
7.1	Anàlisi	68
7.1.1	Pre-procés	68
7.1.2	Procés	68
7.1.3	Post-procés	69
7.2	Preparació de les forces per l'estudi d'elements finits	69
7.2.1	Forces resultants de la frenada màxima amb la roda davantera	69
7.2.2	Forces resultants de la màxima inclinació en corba	71
7.2.3	Forces resultants de la màxima acceleració	73
7.3	Estudi del Xassís	74
7.3.1	Resultats de frenada màxima	76
7.3.2	Resultats de pas de corba	78
7.3.3	Resultats de acceleració màxima	80
7.4	Anàlisi de convergència de les solucions	82

7.4.1	Precisió de Malla 50%.....	82
7.4.2	Precisió de Malla 25%.....	84
7.5	Conclusions de l'anàlisi.	88
8	CONCLUSIONS	90
9.	BIBLIOGRAFIA	91
ANNEX I	92
PLÀNOL	93

1 Prefaci

1.1 Objecte

L'objecte d'aquest projecte es el disseny i càlcul estructural del xassís d'una motocicleta de competició, així com el seu desenvolupament i posterior fabricació. Concretament es tracta d'una motocicleta de 250 c.c. i 4 Temps, basada amb el reglament de la competició internacional entre universitats "MotoStudent".

Per tant, l'objectiu serà trobar un disseny de xassís el més òptim possible que permeti obtenir una motocicleta el més competitiva possible. S'entén com disseny més òptim aquell que proporciona la millor relació rigidesa/pes capaç de suportar el pes tots els components de la motocicleta i tingui un bon comportament.

Es realitzarà prèviament un estudi de les diferents alternatives i opcions existents a l'actualitat, valorant cada una d'elles y decidint aquella que millors prestacions ofereixi. Per dur a terme el procés, serà necessari un intens procés de investigació i recollida d'informació, on també estarà inclosa la decisió sobre el material a utilitzar.

Una vegada seleccionat el tipus de xassís i el material que s'utilitzarà, es realitzaran diferent dissenys a través del programa de disseny 3D Solidworks, analitzant-los mitjançant el mòdul d'elements finits que inclou el mateix software, en busca d'un disseny òptim. Aquest disseny anirà dirigit principalment a la reducció de pes, sempre que es mantingui l'interval de rigidesa aportat pel material. Per últim, quan s'hagi finalitzat per complet el disseny, es procedirà a l'explicació de les fases de soldadura per les que hauria de passar l'estructura per poder-ho acoblar amb la resta de la motocicleta.

1.2 Abast

Aquest projecte es basa únicament amb el primer disseny d'un xassís per una motocicleta de competició 250cc 4T. Per tant queda fora del abast del projecte, la realització i fabricació de tots el conjunts d'elements que finalitzarien la motocicleta.

Com ja s'ha comentat anteriorment, es tracta de realitzar un prototip, es a dir, una primera aproximació. El disseny del xassís de la motocicleta es durà a terme tenint com a base el reglament de la competició "Motostudent". És començarà fent un disseny inicial i comprovant les tensions internes mitjançant FEM (Mètode d'elements finits), també conegut com FEA. Una vegada fet el primer prototip 3D, aquest serà sotmès a les diferents forces de les hipòtesis en les que la motocicleta esta sotmesa, observant i minimitzant moments flectors i moments de torsió. Per finalitzar la realització del prototip, el xassís serà sotmès a les diferents proves de seguretat pertinents, en cas de que hi siguin, per tal de complir la normativa de la competició "Motostudent".

1.3 Motivació

L'esport del motociclisme sempre m'ha despertat gran interès, com espectador i com a pilot. Crec que es realment elegant veure com un pilot es despenja fregant l'asfalt per poder agafar una corba, però amb la mirada fixada en la sortida d'aquesta. A més a més, crec que existeix una interacció de l'home amb la motocicleta més intensa que al món de les quatre rodes. Tanmateix, es pot veure que no hi ha un tipus de conducció òptima. Pilots tan diferenciats com Márquez o Lorenzo poden tenir minúscules diferències amb el seu pas per volta, tot i tenir maneres de conducció antagòniques.

Des de un punt vista d'enginyeria, és tot un repte. No sol s'ha de tenir en compte la recerca d'un disseny òptim, ja que aquest disseny ha de tenir en compte altres variables que tenen un pes molt important a l'hora d'esgarrapar segons al

cronòmetre. Dins d'aquest disseny amb el comportament de la motocicleta, el protagonista és el xassís. Poder fer una cerca i aplicació d'algunes eines de l'enginyeria obtingudes durant el grau d'enginyeria mecànica, sumant-li el factor de nous coneixements concrets i d'aplicació real per una estructura de disseny i un ús molt concret, és una gran motivació per mi.

2 Introducció

Com a definició, es podria dir que un xassís es una estructura que subjecta entre si les diferents parts necessàries per formar un vehicle o objecte. A més a més aporta rigidesa al conjunt. És a dir, dit d'una altra forma, on es subjecta la direcció, el motor, el basculant posterior, etc. En definitiva és la columna vertebral de la motocicleta.

El xassís d'una motocicleta te que complir unes funcions bàsiques que poden ser de dos tipus: estàtiques i dinàmiques. Dintre d'aquesta funció estàtica entra un aspecte que, encara que es evident, s'ha de destacar, y no es un altre que suportar el de la moto, el pilot, el motor i tota la resta d'elements necessaris, com per exemple els dipòsits de benzina i oli.

La funció dinàmica es potser menys evident però és de vital importància: el xassís, en conjunt amb la resta de la part de la motocicleta, ha de proporcionar una direcció precisa, una bona manejabilitat, una bona adherència i un bon confort. Per tot això, el xassís ha de resistir adequadament els esforços de torsió i de flexió, de forma que les rodes puguin mantenir una relació correcta entre elles, sense importar les dificultats o els obstacles que es presentin durant l'ús de la motocicleta. Una relació correcta ens indica que l'eix de la direcció ha de romandre al mateix pla que la roda posterior, de manera que la geometria de la direcció no es vegi afectada per possibles deformacions del xassís.

A més a més el xassís ha de permetre una bona manejabilitat de la motocicleta, referint-se a manejabilitat com l'esforç físic necessari per a que la moto respongui a les accions. Aquest aspecte depèn fonamentalment de l'altura del centre de gravetat, el pes, la rigidesa, la geometria, la dimensió dels pneumàtics i els moments d'inèrcia de les rodes i conjunt motocicleta/pilot.

Una vegada estiguin clars tots aquest conceptes es podrà iniciar el disseny. Per començar-lo, a més a més s'han de tenir dades concretes que ens dirigeixen les premisses a seguir. Per això és sumament important l'existència d'un reglament oficial per l'organització de la competició que marcarà les directrius i restriccions bàsiques existents, mostrant quines llibertats i límits es disposen.

Aquest reglament juntament amb tota la informació recollida als diferents llibres especialitzats, ens permetrà tenir un punt des d'on poder començar el projecte i el disseny del xassís.

2.1 Reglament tècnic

L'organització de la competició "Motostudent" ha establert un reglament tècnic que conté la normativa tècnica reguladora de la prova. L'objectiu d'aquest reglament és l'estandardització i acotació de la gran varietat de possibilitats que existeixen amb la construcció d'un prototip de moto de competició. D'aquesta manera podrem corroborar que el xassís que s'està dissenyant compleix la normativa tècnica d'aquest reglament i amb el contrast de diversos llibres especialitzats amb el món del motociclisme, centrant-nos amb el xassís.

Dintre el reglament de la "Motostudent", concretament pel que fa a la part de restriccions que afecten directament al disseny del xassís, ens trobem amb el següents paràmetres a tenir en compte.

2.1.1 Dimensions

Com es pot observar a la Fig. 4.1 les dimensions de la motocicleta no estan estipulades tot i que hi ha alguns requisits bàsics que s'han de complir (**Annex1: Reglament tècnic Motostudent**).

- Límit posterior: Cap element de la motocicleta podrà sobrepassar la línia tangent vertical traçada a la circumferència exterior del pneumàtic posterior.

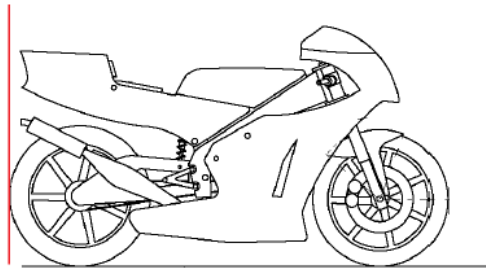


Figura 2. 1

- La distància lliure al terra amb la motocicleta en posició vertical ha de ser d'un mínim de 100 mm en qualsevol situació de compressió de les suspensions i reglatges geomètrics.

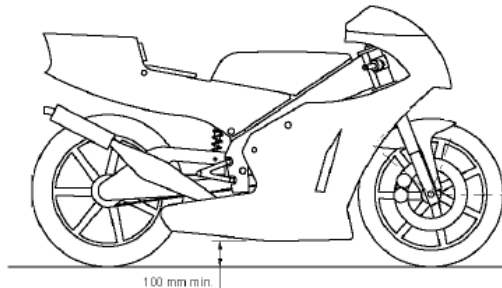


Figura 2. 2

- L'amplitud màxima del seient ha de ser de 450mm. No es podrà sobrepassar d'aquesta amplitud cap altre element de la motocicleta del seient cap endarrere, exceptuant el sistema d'escapament.

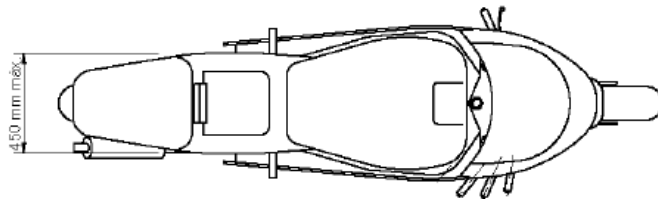


Figura 2. 3

- L'angle mínim d'inclinació lateral de la motocicleta sense cap element de la mateixa toqui el paviment ha de ser de 50°. Aquesta mesura es realitza amb la motocicleta descarregada, però amb tot l'equipament i líquids pel seu funcionament.

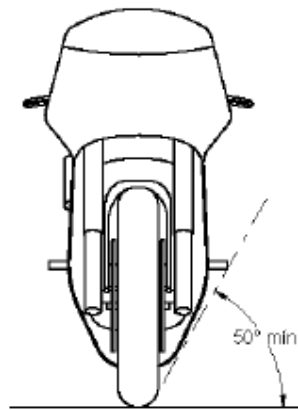


Figura 2. 4

- Els pneumàtics hauran de tenir una tolerància mínima de 15mm amb qualsevol element de la motocicleta en tota posició de la mateixa i reglatge de geometria.
- L'amplitud mínima entre els extrems dels semi manillars ha de ser de 450mm.

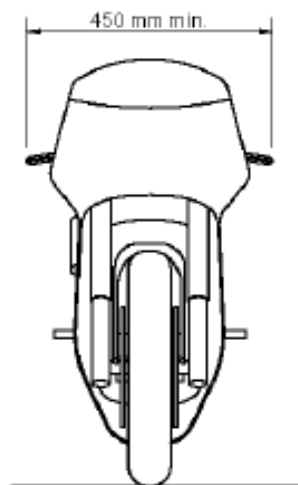


Figura 2. 5

2.1.2 Pes

El pes mínim total de la motocicleta sense pilot ha de ser de 95Kg, incloent tots els líquids que podrien ser necessaris pel funcionament de la moto. Incloent un litre de benzina.

2.2 Introducció històrica

Les solucions constructives de xassís que s'han utilitzat al llarg de la història de la motocicleta son molt diverses. Després de la primera proposta de xassís al segle XIX (Daimler, 1885) ha anat evolucionant a passos gegants, des de pràcticament el xassís de una bicicleta, als moderns xassís construïts íntegrament per fibra de carboni.



Figura 2. 6 Primera moto fabricada: Daimler, 1885

Existeixen nombrosos xassís que van significar una autèntica revolució a la seva època, però hi ha una data per damunt de totes que va suposar un punt d'inflexió a principis dels 80. L'enginyer espanyol Antonio Cobas va presentar una revolució al món del motociclisme: el xassís de doble biga en alumini. Al 1982 va fundar la seva

pròpia marca (JJCobas) i al 1984 va assolir la seva primera victòria a una carrera mundial de motociclisme amb Sito Pons com a pilot.

Aquest solament era un precedent de tot el que assoliria als següents anys, entre ells diferents títols mundials amb el també espanyol Alex Crivillé al cap davant. Més tard, la totalitat dels equips participants al mundial de motociclisme adoptarien aquesta forma de xassís com la idònia per les seves motocicletes. Així va ser com a finals dels 80 el mercat de motocicletes esportives, tant per al carrer com per al circuit, quedarien dividides principalment en dos tipus de xassís: el xassís de doble biga en alumini (principalment en fabricants japonesos) i el xassís tubular de d'acer (normalment en fabricant italians com Ducati o MvAugusta) .

Es per això, que tan sols existeixen dos solucions realment eficients i viables econòmicament per al projecte, després de veure l'evolució pel qual han passat els xassís dintre els equips de competició. Tot i això, la varietat en quant a tipus de xassís és molt més amplia, existint al llarg de l'història nombroses opcions disponibles, com veurem a continuació.

No obstant, abans d'enumerar i classificar els diferents tipus de xassís es convenient, senyalar les parts i elements que el componen habitualment i la seva posició al conjunt, així com descriure la seva funció breument.

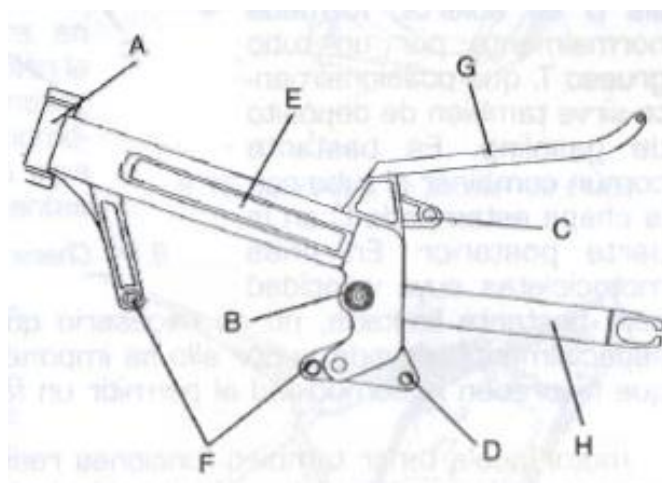


Figura 2. 7 Parts d'un xassís

L'estructura general d'un xassís, independentment del seu tipus, es pràcticament invariable en tots. Com es pot apreciar a la Figura 2.6 per una part tenim la zona d'ancoratge de la suspensió davantera A. Al ser esta habitualment una forquilla telescòpica, es un eix que es denomina "pipa de direcció". Per la pròpia estructura de la forquilla aquest punt es situa a la part davantera, a la part més alta del xassís. L'altra punt d'ancoratge de la suspensió sol ser l'eix del basculant B, que deu combinar-se amb un suport pel o pels amortidors posteriors C, e inclús els ancoratges de les bieletes de la suspensió posterior D, si es que existeixen. Aquestes dues zones estan sotmeses a uns grans esforços de manera que convé que disposin de la màxima rigidesa possible. A més a més hi ha que unir ambdós ancoratges amb una estructura E, y aquí es on la varietat abunda. Els diferents tipus poden realitzar-lo amb tubs, xapes, bigues dobles, etc. Sent aquests igualment los materials empresos pels ancoratges. Aquest dibuix esta representant un bastidor de tipus doble biga actual, però qualsevol dels tipus que es veuran amb posterioritat adopta els mateixos principis.

Altres elements que ha de tenir un xassís son els ancoratges pel motor F, suficientment resistents com per que els afecti el pes, ni les vibracions. El motor es ocasionalment part de l'estructura del xassís, ja que, degut a la seva gran resistència, pot realitzar funcions portants, permetent que el xassís sigui més lleuger. També hi ha subjectar el pilot mitjançant l'estructura G i els diferents elements accessoris com el depòsit de benzina i la carrosseria en general, així com los accessoris del pilot. Si s'inclou el basculant posterior H com element del xassís, hi ha que senyalar que aquesta peça estigui sotmesa a grans esforços i que sigui molt resistent. En altres moments no es realitzaven els basculants seguint aquesta línia, però amb el temps ha estat un dels elements que més s'han dimensionat.

Es distingeixen a continuació els diferents xassís començant pels més senzills:

2.2.1 Xassís tubular

Las primeras motocicletes eren pràcticament bicicletes dotades d'un petit motor que s'enclava en diferents ubicacions, pel que aquest, fou el tipus de xassís que

s'adoptava, especialment a l'època en que els pedals també s'empraven com ajuda ocasional al motor.

Fins que la suspensió posterior va començar a utilitzar-se de manera generalitzada dècades més tard, la gran majoria de xassís eren de tipus diamant. Això no es d'estranyar ja que aquest tipus de xassís eren molt llargs en sentit vertical, i aquest resultava ideal per allotjar los motors mono cilíndrics populars d'aquella època. En aquestes motocicletes l'ús d'una pipa de direcció inclinada resultava el correcte per proporcionar l'avanç necessari a la roda davantera per a que la moto fos estable a la línia recta.

Durant molts anys, abans i després la primera guerra mundial, els fabricants es van inclinar de manera aclaparadora per aquest tipus de xassís. Una variant primerenca fou el xassís tipus "single-loop", en el que el tub frontal i el tub del seient estaven formats per un únic tub doblat que continuava passant per sota del motor.

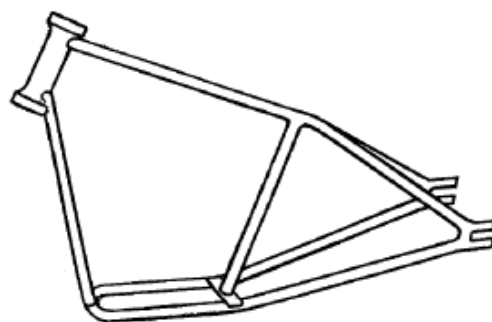


Figura 2.8 Xassís simple cunya

Els dos xassís van ser millorats amb el xassís de simple cunya. En aquest xassís, els extrems inferiors del tub frontal i del tub del seient estaven separats i connectats de forma rígida per una cunya que abraçava el motor.

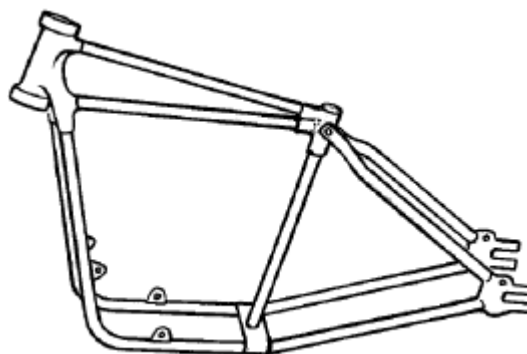


Figura 2. 9 Xassís de doble cunya

El següent pas fou el xassís de doble cunya, on els tubs de la cunya continuaven fins la part superior, fins arribar a la pipa de la direcció, mentre que per darrera també continuaven fins l'eix de la roda posterior.

Com es pot observar, la rigidesa a torsió i flexió no era un paràmetre important als primers xassís, ja que no es tenia pràcticament en compte a l'hora del disseny . Tot

i això, l'inici de la guerra van produir alguns esforços importants per millorar aquesta rigidesa a torsió i flexió dels xassís, a base de triangular l'estructura. El xassís de la Cotton fou un clar exemple de triangulació aconseguint una excel·lent estabilitat.

Aquest tipus de xassís podia aconseguir una eficiència estructural extremadament elevada, tot i això mai varen trobar el recolzament dels grans fabricant de motocicletes. Aquest podia ser degut a que, per la dimensió dels motors, se necessitaria una estructura massa ampla i de geometria complicada. A més a més aquests tubs llargs i de petit diàmetre tenien el problema de que el motor provocava que entraven en ressonància, fent necessari reduir la seva longitud o augmentar el seu diàmetre.

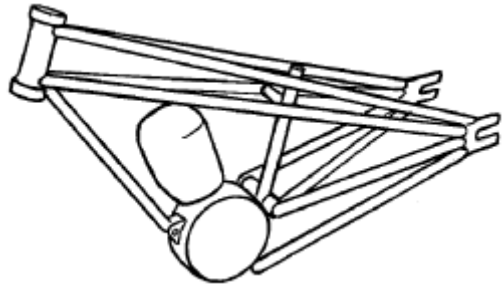


Figura 2.10 Xassís Cotton

En 1949 es va iniciar la revolució quan les Norton de competició van començar a utilitzar el xassís "featherbed" dissenyat pels germans McCandless, per molts considerat avui en dia com el millor xassís de la

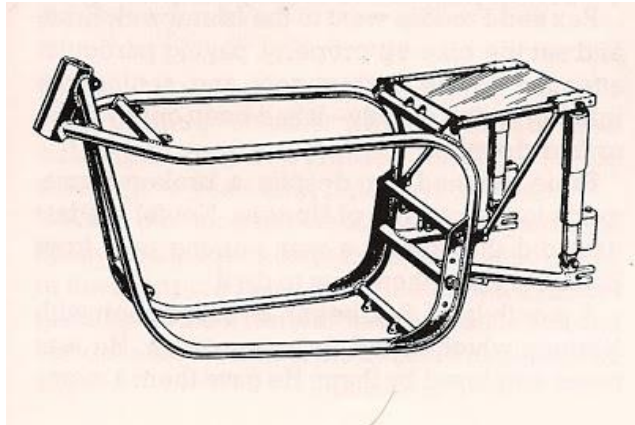


Figura 2.11 Xassís "featherbed"

historia. Inclús avui, mig segle després, molts dissenys actuals

encara mostren una descendència directa d'aquest disseny. El disseny general va aconseguir un repartiment dels pesos bastant bo i un centre de gravetat relativament baix, tenint en compte la posició vertical del cilindre. La forquilla telescòpica fou una de les més robustes de l'època, i la geometria de direcció proporcionava un tacte suau i precís. Aquest xassís va suposar una revolució al

mon de la competició equiparable a la que més tard suposaria el xassís de doble vida de Antonio Cobas.

A l'actualitat, l'ús de xassís tubulars pràcticament han desaparegut al món de l'alta competició. Tot i això, es segueix conservant el seu ús en motocicletes per circulació per carretera. Alguns exemples, són les motocicletes KTM o Ducati, on els seus



Figura 2.12 Xassís Ducati

principals models comercials i de competició (exceptuant la categoria de MotoGP) es fabriquen amb xassís tubular d'acer. En general, l'acer ha estat el material més utilitzat en la fabricació de xassís tubulars tot i que també es comú l'ús del titani i l'alumini.

2.2.2 Xassís de biga central

Una solució completament diferent per millorar la resistència a la torsió i la flexió del xassís va consistir amb l'ús dels tubs de gran diàmetre que unien la pipa de direcció amb l'eix posterior travessant longitudinalment la motocicleta, sent aquests tubs l'element



Figura 2.13 Xassís espina central

principal del xassís. D'aquesta forma es va aconseguir dissenyar xassís amb una gran resistència, a la vegada que senzills.

El tub en qüestió podia ser de diferents formes geomètriques, (quadrat, rectangular, circular, en forma de T...) però l'ús de tubs circulars ofereix els millors resultats, al ser que a major resistència a torsió presentava.

El problema radica amb els tubs, evidentment, no podien unir directament la pipa de direcció amb l'eix de la roda posterior. Per això, el tub s'havia de bifurcar a la part posterior, quedant la part oberta del tub a la zona interna. Aquesta zona oberta era posteriorment tapada amb xapa en forma de U, tornant a dotar de rigidesa el xassís. Aquest problema va desaparèixer amb la instauració dels basculants, fent que no fos necessària la bifurcació del tub.

Actualment aquest tipus de xassís pràcticament es troben en scooters o motocicletes tipus *Custom*. Amb la resta ha quedat amb desús. Tan sols alguns models aïllats presenten espina central.

2.2.3 Xassís amb motor autoportant

La utilització del motor com a part estructural del xassís dona lloc a una nova generació de xassís. Aquest tipus de xassís sorgeixen com objectiu d'aprofitar la capacitat portant del motor, incloent-lo com un element més del xassís, el qual unirà la pipa de direcció amb l'eix posterior del basculant.



Figura 2.14 Xassís autoportant

Un dels primers exemples es la P&M (posteriorment denominada Panther) on els seus cilindres situats molt alts, feien a la vegada de xassís. Després de la segona Guerra Mundial, tot i això van assolir major celebritat i èxits les Vincent, dotats d'un

xassís d'espina central de secció rectangular feta de xapa soldada, que servia a la vegada com a dipòsit d'oli.

La utilització de grans motors amb valors de rigidesa alta han donat lloc a l'aparició de diferents tipus de xassís. Un exemple de la utilització d'aquest tipus de xassís en l'actualitat es l'antiga Ducati de MotoGP. Aquest xassís està fabricat en fibra de carboni, connectant la pipa amb el motor i l'eix del basculant està directament al carter.

L'ús d'aquest tipus no va necessàriament relacionat al món de la competició, sinó que també es possible trobar-los al carrer. Els models actuals de BMW amb motor boxer són un exemple de lo que se pot assolir quan el conjunt motriu es dissenya des de el principi per actuar també com la estructura principal de la motocicleta. Per tant, es pot observar que aquest és la forma més eficient de construir una moto quan aquesta tingui un motor gran. Utilitzant la rigidesa del motor per unir la pipa de direcció amb l'eix del basculant.

2.2.4 Xassís monocasc

La dificultat per fabricar aquest xassís i els problemes d'espai que comporta han estat que aquest tipus de xassís tingui una escassa utilització al llarg de la seva història. Un xassís pensat per la competició ha de complir una sèrie de premisses indispensables, entre les que es troba la facilitat d'accés per la comprovació i canvi de reglatges.

Aquest tipus de xassís aconsegueix la seva rigidesa estructural mitjançant una cuirassa completament aerodinàmica i uns reforços transversals. És per això, que generalment es considera que un xassís sigui monocasc si el carenat de la motocicleta és també un element que proporciona rigidesa al conjunt.

Tot i això, a pesar del escàs èxit i utilització que han tingut aquests xassís, existeixen alguns models de motocicletes dissenyats amb aquest tipus de xassís que varen suposar una revolució al món de les motos. L'exemple més significatiu

es produeix precisament a Espanya a mans de l'enginyer Eduardo Giró, el qual va dissenyar la Ossa 250 monocasc que posteriorment pilotaria el malmès Santi Herrero. Aquest xassís monocasc es va fabricar amb magnesi, aconseguint una rigidesa desconeguda fins llavors amb tot just 7.4Kg de pes.

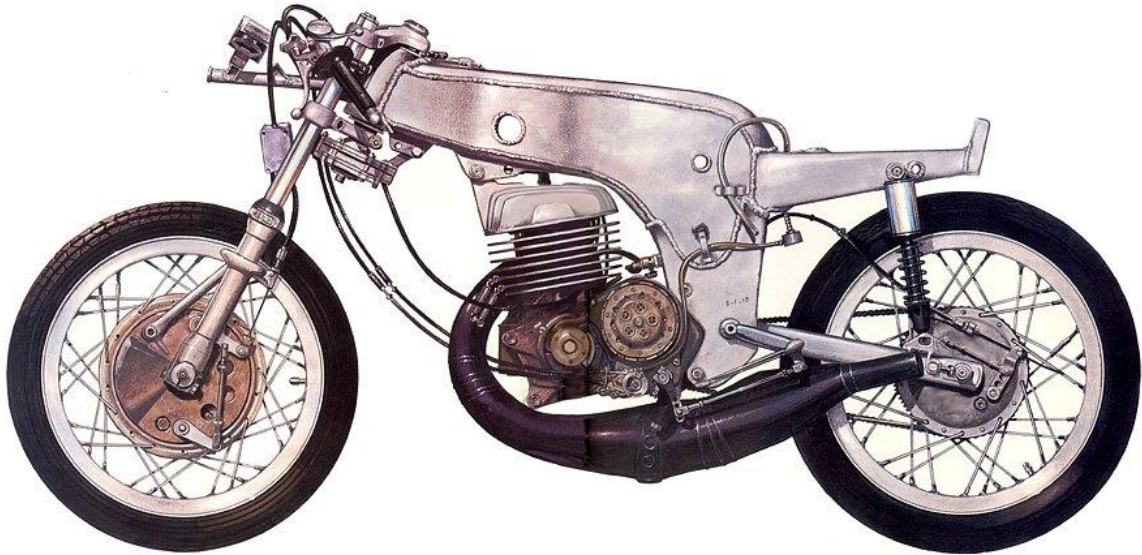


Figura 2.15 Xassís monocasc

2.2.5 Xassís de doble biga

A dia d'avui es tracta del tipus de xassís més utilitzat a tot el món, degut a que proporciona, sense dubte, els millors resultats. Dissenyat originalment pel enginyer Antonio Cobas, va suposar una

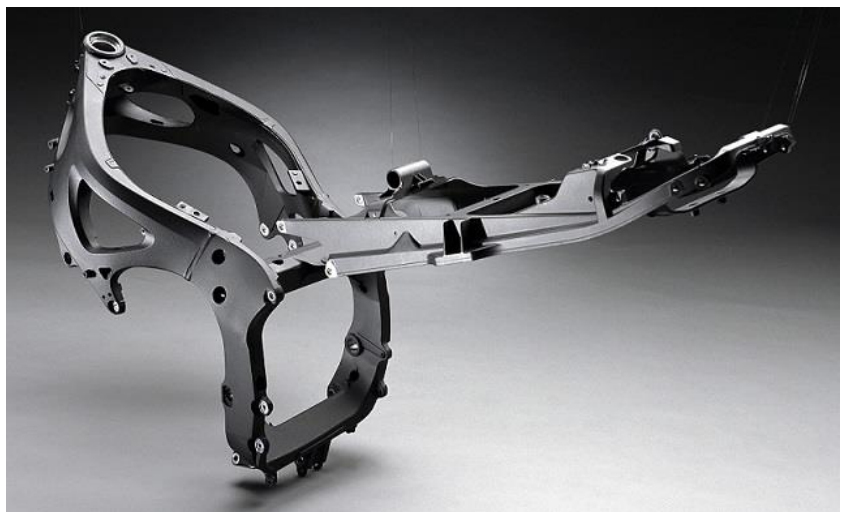


Figura 2.16 Xassís doble biga

revolució que avui en dia es usat per les motocicletes esportives més potents i de competició. Es basa amb l'idea d'aquest enginyer de connectar la pipa de direcció amb al suspensió posterior lo més directament possible, a més a més de situar el motor "penjat". Antonio Cobas el va denominar el xassís "deltabox".

El disseny consisteix en dues bigues, normalment d'alumini, situades ambdós costats del motor, unint la pipa de direcció amb l'eix del basculant, es a dir, podria veure's com un xassís d'espina central desdoblant. Pràcticament tots els casos, la pipa de direcció, son allotjaments del eix del basculant i els suports posteriors del motor son de fundació i estan soldats a les bigues laterals. Moltes vegades, tot i que no sempre, el subxassís va cargolat al xassís principal.

El curiós és que estructuralment no es un xassís especialment bo, inclús utilitzant Alumini, el pes final no es excessivament lleuger, sent superior al d'altres tipus de xassís. Tot i això, la eficiència estructural no ho és tot, pel que la gran avantatge d'espai que proporciona aquests xassís fa referencia que poden allotjar sense problemes els moderns motors de gran capacitat.

A més a més si se centra l'atenció al món de la competició (com seria el cas) aquest tipus de xassís permeten, com ja s'ha comentat anteriorment , un fàcil accés al motor amb el fi de poder treballar amb comoditat sobre el motor. Per altra banda, la desaparició de tubs o material que rodejava el motor per sota i per davant suposa la disponibilitat d'un espai molt útil per allotjar els sistemes de refrigeració i escapament. Aquest ha estat un dels factors que han col·locat els xassís de doble biga per sobre de la resta, fent que actualment casi be la totalitat dels equips de màxima competició mundial muntin xassís de doble biga.

3 Elecció del xassís

Una vegada coneguts els diferents tipus de xassís existents, així com les seves característiques, funcionament i resultats, es realitzarà un estudi per triar quin d'ells s'adapta millor al nostre objectiu, que no és un altre que aconseguir un disseny lo més competitiu possible, dins dels límits pressupostaris establerts.

3.1 Estudi per la selecció del tipus de xassís

L'estudi es començarà valorant la rigidesa i el pes que cada tipus de xassís ens podria proporcionar. Aquest dos aspectes son de vital importància ja que, per una banda, el xassís dissenyat haurà de suportar cargues relativament elevades. Mentre que per altra banda, el pes resultarà determinant degut a que totes les motocicletes que participen a la competició "Motostudent" muntaran el mateix motor.

Un altre aspecte a valorar serà l'espai que proporcionarà el xassís. Aquest espai determinarà la rapidesa i facilitat amb la que es serà capaç de solucionar averies o canvi de reglatges. Aquest serà, com s'ha mencionat en apartat anteriors, un punt molt important tenint en compte que el disseny esta orientat al món de la competició.

Els últims punts a tenir en compte alhora de decidir quin tipus de xassís se dissenyarà és el cost del material i la viabilitat de la seva fabricació. És per això que en aquest apartat també es valorarà el material a emprar, sent aquest decisiu amb el disseny i el cost del xassís, així com el pes final i les prestacions.

Per organitzar totes aquestes idees i facilitar la decisió sobre quin tipus escollir es recolliran tots els punts a una tabla, atorgant un valor a cada un d'ells depenent del tipus de xassís que s'estigui estudiant. S'ha de mencionar que a la següent taula s'ha obviat el tipus de xassís al que el motor actua com element estructural tot i la seva relació rigidesa/pes es bastant bona. Això es degut a que el motor

subministrat per l'organització no posseeix la suficient rigidesa com per optar per aquest tipus de xassís.

Tipus	Rigidesa	Pes	Espai	Material	Fabricació	Cost
Tubular	Mitja/alta	Mitja	Mitja	Acer/alumini	Problemàtica per elevat numero de soldadures	Mitja
Espina central	Alta	Alta	Mitja	Acer/alumini	Fàcil	Alt cost dels útils
Monocasc	Mitja	Mitja	Baix	Alumini	Dificultat mitjà	Alt
Doble biga	Mitja/alta	Mitja	Alt	Alumini	Soldadura complicada	Mitja/alt cost de mecanització

Figura 3.1 Taula comparativa dels tipus de xassís

Una vegada organitzats a la present taula els diferents xassís i les seves característiques, començarem la selecció del nostre model de xassís. Amb la simple observació de la taula es pot descartar directament dos models: xassís monocasc i xassís d'espina central. Es tracta dels models més cars de fabricar i a més a més les seves relacions rigidesa/pes no son de les millors, pel que els desestimem. Tot i això, per poder fer una correcta elecció entre xassís tubular i el de doble biga s'haurà de realitzar un anàlisis més detallat de les nostres necessitats.

3.1.1 Anàlisis de les necessitats

Per ser capaços de prendre una correcta decisió sobre quin tipus de xassís dissenyar, primerament s'ha d'analitzar i tenir clares les necessitats que s'han de cobrir al nostre xassís. Per això, s'enumeraran a continuació tots els requisits que s'han acordat que ha de complir el xassís.

a) Rigidesa

Es, evidentment, la característica principal que ha de complir el xassís. S'entén com rigidesa la capacitat per suportar les carregues a les que es veurà sotmès, mantenint la seva geometria dins d'uns valors adequats. Aquest vol dir que la rigidesa estarà relacionada amb les deformacions que posteriorment cessarà. Aquestes deformacions mai hauran de sobrepassar el límit elàstic, convertint-se en deformacions plàstiques. El nostre objectiu serà, per tant, dissenyar un xassís el més rígid possible, ja que aquest suportarà el pes de la resta d'elements, inclosos el pilot. A més a més, s'haurà de tenir en compte els possibles impactes que pugui sofrir la motocicleta (caigudes, tocs amb altres pilots, etc).

b) Pes

Al tractar-se d'una motocicleta de competició el pes serà un factor primordial. A més a més, en aquest cas, totes les motos participants estaran dotades del mateix motor (de escassa potencia) pel que l'objectiu serà d'obtenir un disseny lo menys pesat possible.

c) Espai

Com hem mencionat en repetides ocasions, la disponibilitat d'espai en una motocicleta de competició es molt necessari. Aquestes motocicletes es troben en continu canvi durant les competicions, pel que un ràpid i fàcil accés als elements modificables (bugies, carburadors...) es una cosa que s'ha de prevenir al disseny.

d) Material

S'haurà de seleccionar un material que aportí la rigidesa necessària, amb un pes el més reduït possible i que, a més a més, s'adapti a les nostres possibilitats pressupostaries. L'elecció sobre el material es tractarà detingudament a l'annex "Materials".

e) Fabricació

S'ha de conèixer amb detall el procés de fabricació per poder determinar si serà viable. S'entén per viable que es disposi dels recursos econòmics necessaris per realitzar-lo, amb personal qualificat per dur-lo a terme i que, tant la dificultat com el cost, no excedeixi d'un cert límit.

f) Altres factors

A més a més de tots aquests factors ja mencionats existeixen altres que, tot i ser menys importants, també mereixen ser tinguts en compte. Entre ells es troba la l'estètica, es a dir, que ofereixi confiança al pilot. Altres factors serien la facilitat d'assemblatge amb la resta d'elements de la motocicleta (basculant, subxassís...) així com la facilitat per poder modificar cotes amb el disseny sense necessitat de començar de zero, es a dir, la variabilitat.

3.1.2 Avaluació i selecció del tipus de xassís

Per poder prendre una decisió correcta entre quin tipus de xassís dissenyar (doble biga o tubular) es realitzarà una avaluació matemàtica de com compleixen diferents necessitats anteriorment mencionades cada una dels tipus.

Per això s'assignaran valors numèrics a cada una de les necessitats segons el grau d'importància que considerem que tenim al nostre disseny. A la vegada, s'avaluarà també amb valors numèrics la qualitat amb la que compleix cada model de xassís cada una de les necessitats.

IMPORTANCIA	VALOR	COMPLIMENT	VALOR
ALTA	3	BO	3
MITJA	2	REGULAR	2
BAIXA	1	DOLENT	1

Figura 3.2 Taula de valors

Una vegada conegut el significat de cada valor numèric, s'elaborarà una taula que reculli les diferents necessitats amb els seus valors numèrics, així com la resposta de cada xassís a cada necessitat també amb els seus valors numèrics. Posteriorment se calcularà el producte "Importància x compliment" i es sumaran els resultats obtenint un valor representatiu del compliment de les necessitats per cada xassís. El resultat d'aquests valors finals ens permetrà seleccionar al que millor s'adapti a les nostres necessitats.

NECESSITATS	IMPORTANCIA	COMPLIMENT		RESULTATS	
		Doble Biga	Tubular	Doble Biga	Tubular
Rigidesa	3	2	2	6	6
Resist. Impactes	1	2	2	2	2
Pes	3	3	2	9	6
Espai	3	3	2	9	6
Material	2	2	3	4	6
Fabricació	2	2	3	4	6
Estètica	1	3	2	3	2
Muntatge	2	3	3	6	6
Variabilitat	2	3	2	6	4
		Total		49	44

Figura 3.3 Taula "Importància x Compliment"

Els càlculs realitzats ens mostren que el model que millor s'ajusta a les nostres necessitats es el xassís doble biga. La rigidesa que ofereix per aquest model, així com l'escàs pes per l'ús d'alumini com a material i la gran disponibilitat d'espai que ofereix han estat els factors més determinants a l'hora d'escollir

l'estudi a favor de la doble biga. És per això que la decisió presa finalment serà la de dissenyar i fabricar aquest tipus de xassís.

3.2 Geometries

Els paràmetres geomètrics d'una motocicleta són els que diferencien l'ús que se li donarà a aquesta. Aquests defineixen tant el seu comportament dinàmic com el pilotatge que es requerirà. Especialment en competició, on es procura du el vehicle al màxim aprofitament de les seves prestacions, s'han de considerar amb més precisió posat que un canvi dels mil·límetres en una cota pot tenir efectes fatídicament adversos al seu funcionament. A continuació s'explicarà la influencia que té cada una a la seva dinàmica en pista. Molts paràmetres interaccionen entre si, amb el que no poden ser considerats per separat, sinó que un canvi en algun d'ells ha d'anar acompanyat d'una compensació en altres.

Aquests factors geomètrics són: avanç, llançament, diàmetre de les rodes, moviments angulars i distància entre eixos.

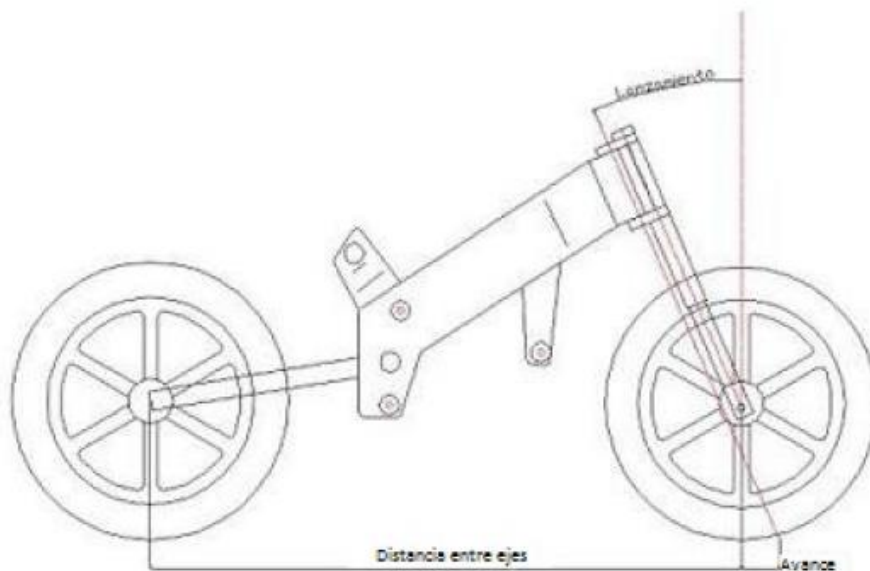


Figura 3.4 Geometria bàsica d'una motocicleta

3.2.1 Avanç

L'avanç es la distància que existeix, a nivell del terra, entre el centre de la trepitjada de contacte del pneumàtic i el punt el qual l'eix de direcció intercepta amb el terra ("avanç al terra"). Tot i això, resultaria més lògic mesurar l'avanç com la distància entre la trepitjada de contacte del

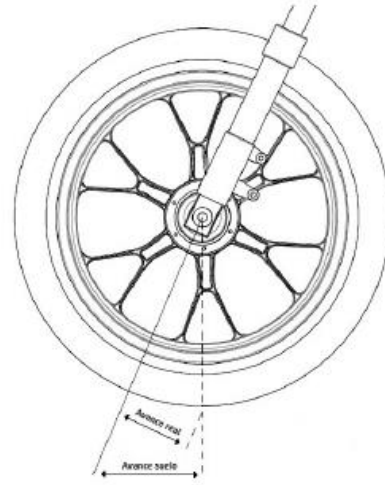


Figura 3.5 Diferència entre l'avanç real i l'avanç al terra

pneumàtic i l'eix de direcció en l'angle recte amb respecte aquest

eix ("avanç real"). L'avanç real es aproximadament el 90% de l'avanç al terra.

Motocicletes de carrer		Motocicletes de competició	
Marca i model	mm	Marca i model	mm
Honda VFR750	108	Honda NSR500 (95)	95
Suzuki GSX-R750	96	Honda NSR500 (92)	95
Honda Fireblade	90	Ducati 916 (95)	100
Triumph Trophy 1200	105	Harley VR1000	96
Honda CBR600	94	Muzzy Kawasaki 750	100
Kawasaki ZX-7R	99	Yamaha YZF750race	95
BMW K1100LT	101	Aprilia RSV	76
Yamaha FZR600	94	Honda RC45	92

Figura 3.6 Taula de diferents avanç de motocicletes de carrer i de competició

L'objectiu principal de l'avanç es el de donar a la motocicleta una certa estabilitat direccional, tot i que també es important a l'inici de la fase d'inclinació de la motocicleta a l'entrada de la corba. Tant el pneumàtic davanter com el posterior toquen al terra per darrera del punt on l'eix de direcció ho fa, això provoca un efecte d'autocentrat en ambdues rodes. Aquest avanç fa que qualsevol força que es generi sobre el pneumàtic faci un moment al voltant de l'eix de direcció (força x distància) que es precisament el que ajuda a conduir la moto. Existiran dos tipus d'avanç: positiu i negatiu.

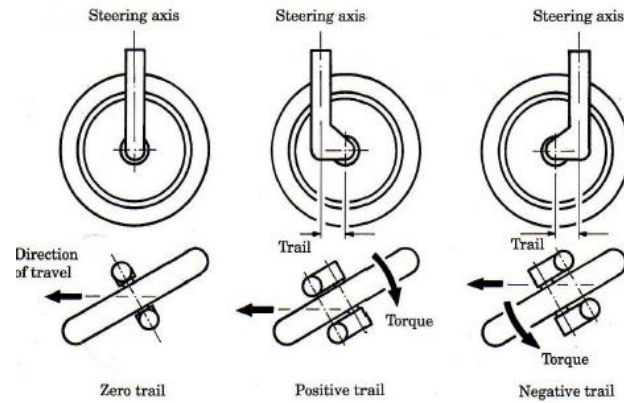


Figura 3.7

L'avanç positiu es aquell en el que la trepitjada de contacte queda per darrera de l'eix de direcció, generant un moment corrector que girarà la direcció de forma que ajudi a la roda a anar en la direcció desitjada (efecte contra manillar). És per això que la direcció es girarà per algun motiu imprevist, l'avanç positiu s'encarregaria de contrarestar-lo immediatament el gir proporcionant estabilitat.

L'avanç negatiu es aquell amb el que la trepitjada de contacte queda per la part davantera de l'eix de direcció, creant un moment que reforçaria la pertorbació inicial i es convertiria a la motocicleta en direcció inestable.

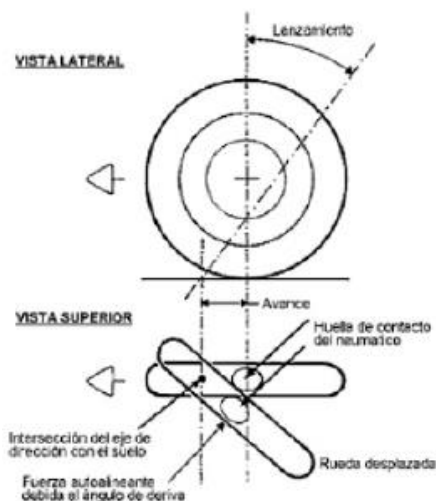


Figura 3.8 Avanç positiu

En quant a l'influència en aquest aspecte geomètric la roda davantera serà molt més determinant que la posterior, a pesar de tenir un avanç molt menor. Aquest es deu a que l'angle de deriva de la roda posterior serà molt menor que el de la davantera.

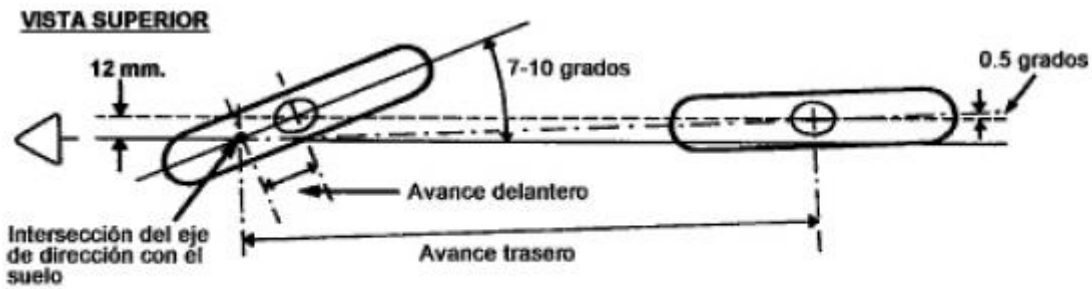


Figura 3.9 Angle de deriva de la roda davantera i posterior.

Els avanços típics oscil·len entre els 80 i 120mm, tot i això una petita variació d'aquest pot provocar grans canvis amb la motocicleta. Aquest avanç variarà durant la conducció en funció de l'angle d'inclinació, l'angle de gir de la direcció o el radi del perfil del pneumàtic. A continuació es mostra una gràfica on es mostren diferents valors d'avanç en funció de l'angle d'inclinació i de l'angle de gir de la direcció. La zona delimita les combinacions improbables de que es produeixin a la realitat.

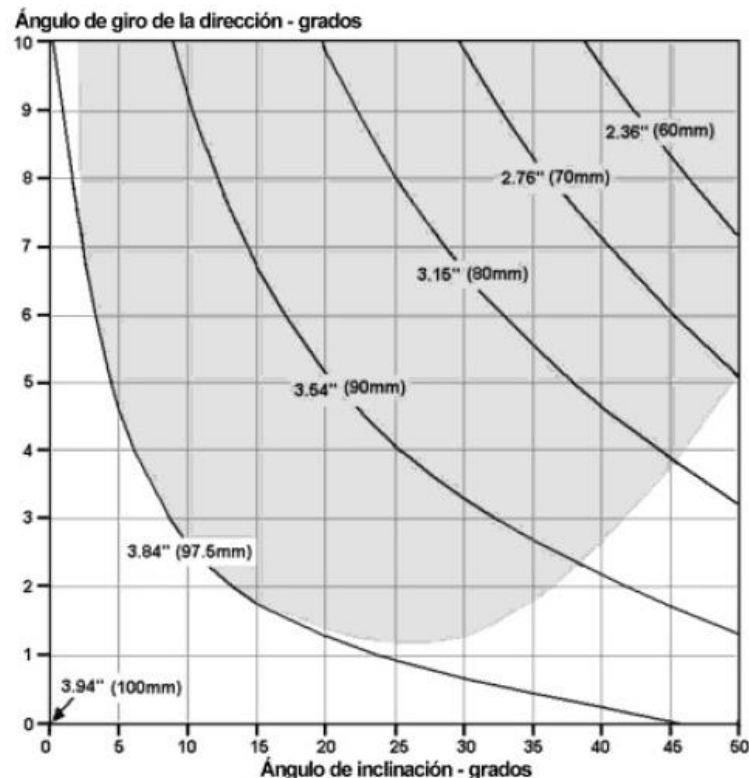


Figura 3.10 Gràfica de variació de l'avanç

S'ha de tenir en compte que:

- Un avanç major proporcionarà un moment major. Això suposarà una menor agilitat de la motocicleta al pas de corba.
- Un avanç petit proporcionarà un moment menor, però la moto serà molt àgil en el pas de corba.

3.2.2 Angle de llançament

Es coneix per llançament l'angle que forma la pipa de direcció i la normal de la roda davantera. El llançament en si no fa més que determinar quin avanç tindrà la motocicleta. Històricament aquests angles han variat entre els 23 i 30 graus (sense considerar els angles grans utilitzats pel segment de les "custom"). Tot i això, des de sempre ha existit una tendència gradual al us d'angles de llançament més petits, sobretot en motos esportives i de competició. Valors de llançament que eren considerats inestables dècades anteriors, s'empren ara de forma habitual, variant entre els 20 i 30 graus.

Un motiu que explica aquesta reducció gradual de l'angle de llançament es la facilitat de construcció. Durant les darreres dècades s'ha buscat un repartiment de pesos amb el tren davanter amb més pes, portant el pilot més endavant. Òbviament, aquest es més fàcil de aconseguir amb una pipa de direcció més endavant i, per tant, amb un llançament menor.

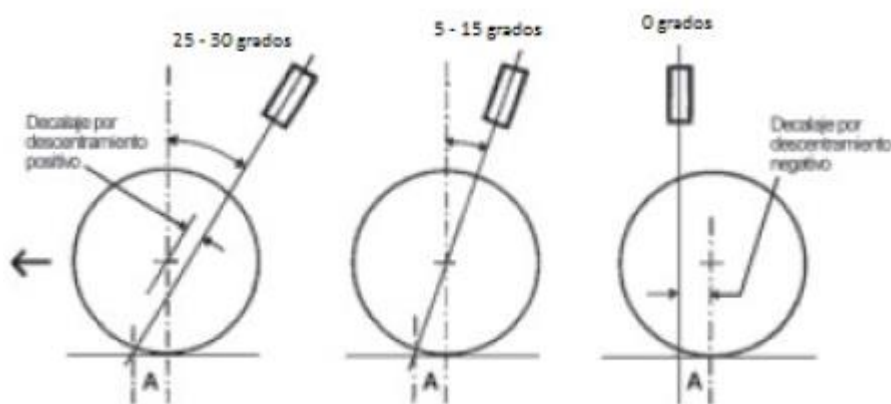


Figura 3.11 Diferents llançaments pel mateix avanç per descentrament

Esquerra: Sistema convencional

Centre: Angle de llançament quan no existeix decalatge (com en molts tipus de trens alternatius).

Dreta: Angle de llançament de zero graus (eix de direcció vertical) que proporciona un decalatge negatiu)

Si observem el món de la competició, la majoria de motocicletes actuals solen utilitzar un angle de llançament variable. Per això s'utilitzen pipes de direcció formades per un tub de gran diàmetre, a l'interior del qual es munten uns rodaments de la direcció allotjats en uns inserts excèntrics. L'angle de llançament s'ajusta variant el descentrament dels inserts excèntrics. Evidentment, al variar el llançament també canviaran altres paràmetres com l'avanç, la distància entre eixos o la distribució de pesos. A més a més el llançament redueix l'angle de gir efectiu que existeix entre el pneumàtic y el terra, comparant amb l'angle que girem el manillar.

Com ja s'ha comentat a l'apartat anterior, existeix la possibilitat de que es produeixi

un avanç negatiu. Al estar totalment relacionats l'avanç i el l'angle de llançament, aquest darrer influirà en l'aparició o no d'un avanç negatiu. A continuació es mostra una gràfica en la que es pot

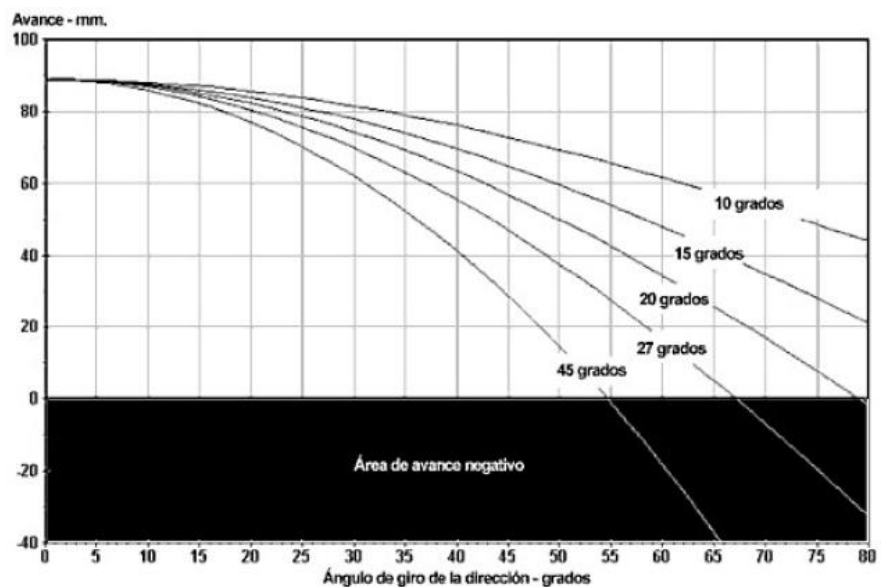


Figura 3.12 Combinacions per avanç negatiu

observar les diferents combinacions d'avanç (eix d'ordenades), llançament (corbes) i l'angle de gir de la direcció (eix de abscisses) que donarien com resultat un avanç negatiu (zona fosca).

Un altre aspecte amb el que influeix el llançament es en la caiguda de la pipa. Com una motocicleta normal, es a dir amb avanç positiu, en posició vertical la pipa de direcció baixarà conforme es giri el manillar cap un costat. Quan major sigui l'angle de llançament, major serà la caiguda. Aquesta caiguda tendeix a treballar contra l'efecte auto lineant del llançament, ja que per tornar a girar el manillar fins la posició de línia recta, tenim que aixecar considerablement el pes que suporta la pipa de direcció. Aquest pot apreciar-se millor observant l'efecte per un angle de llançament exagerat de 90° .

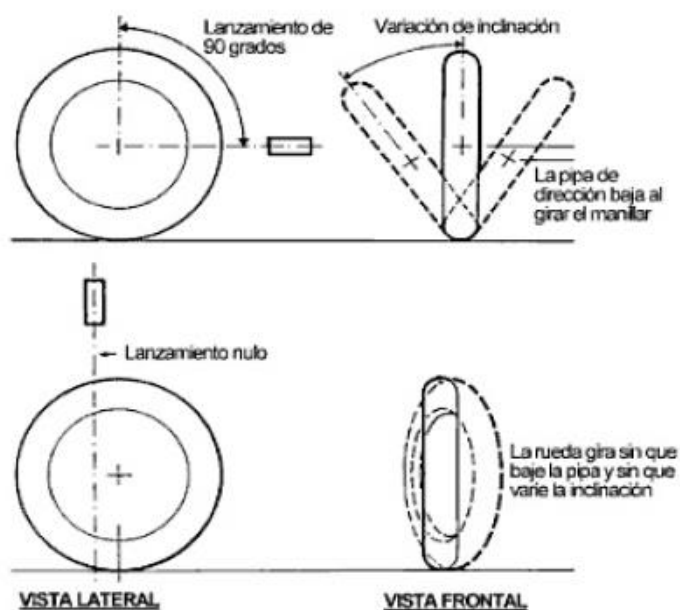


Figura 3.13 Caiguda de la pipa amb i sense angle de llançament

Per un millor enteniment dels termes angle d'inclinació, angle de gir real de la direcció, etc. Així com la forma en la que afecta al llançament, se mostra el següent esquema intuïtiu de lo que seria la representació d'una motocicleta mitjançant plans. Això ajudarà a visualitzar diferents efectes geomètrics deguts a la inclinació i el gir.

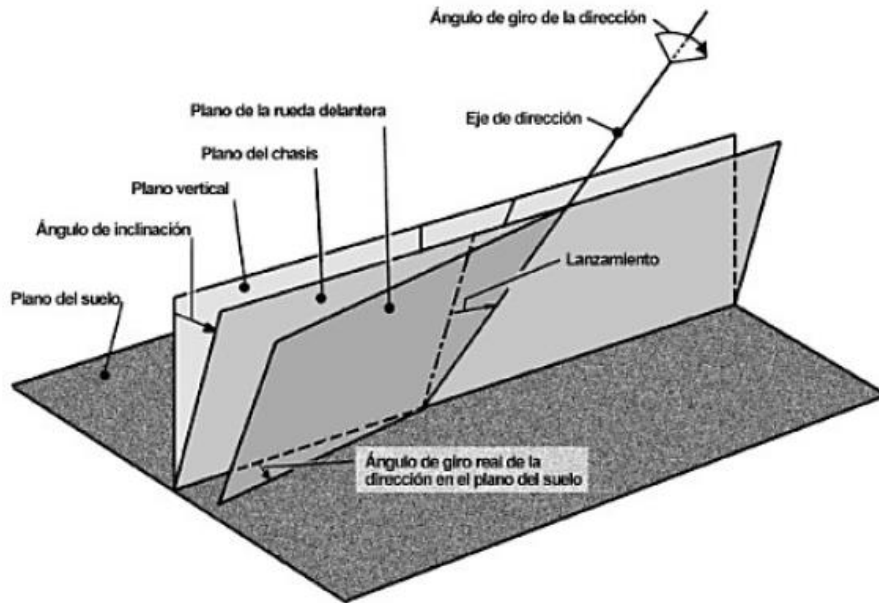


Figura 3.14 Caiguda de la pipa amb i sense angle de llançament

Un dels plans representa la major part del xassís, incloent la roda del darrere, mentre que l'altre és el pla central de la roda davantera. El pla frontal pot rotar al voltant de l'eix de direcció contingut en el pla del darrere i el pla del darrere pot inclinar respecte a la vertical.

3.2.3 Distància entre eixos

Per definició, la distància entre eixos és la distància entre els centres de les rodes quan les suspensions estan en repòs. Aquesta distància té diversos efectes però, en general, com més gran és la distància més gran és l'estabilitat direccional i major l'esforç necessari per negociar els revolts. Hi ha tres raons principals per a això.

- **Angle de gir requerit**

Per a una corba donada amb un radi determinat, una motocicleta amb una major distància entre eixos necessita girar més la roda davantera cap a l'interior de la corba, tal com es mostra en la següent figura. És per això que serà necessari un major esforç per negociar els revolts. D'altra banda, una

possible flexió de la roda davantera deguda a un sot o qualsevol altre imprevist tindria un efecte menor en l'estabilitat direccional.

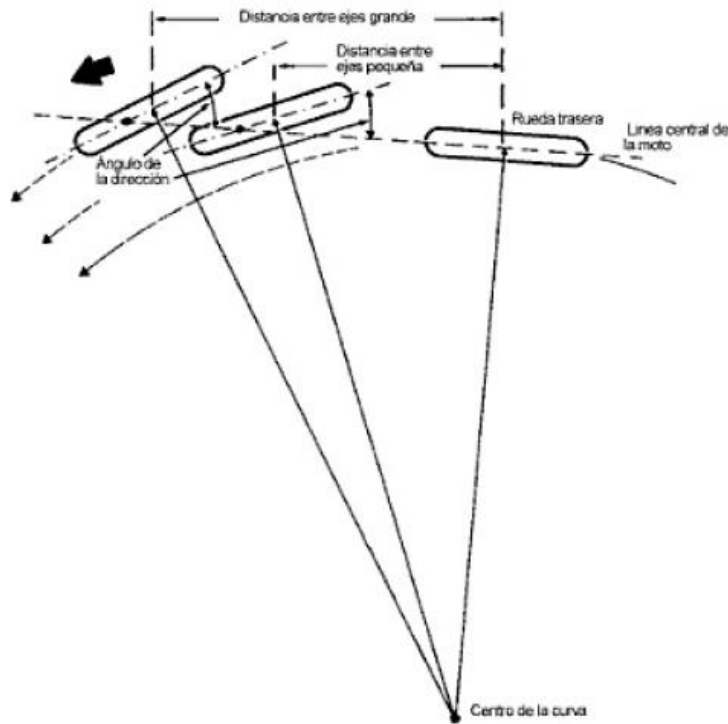


Figura 3.15 Angles de gir segons la distancia

- **Angle del pneumàtic posterior**

Un altre efecte que influeix la distància entre eixos es l'angle de la roda posterior. Per una determinada flexió lateral, produïda per exemple en un canvi de rasant, l'angle format entre la roda posterior i la direcció de viatge es menor amb una distància gran entre eixos, el qual millora l'estabilitat direccional, es a dir la capacitat del pilot de poder controlar la motocicleta.



Figura 3.16 Gir de la roda posterior segons la distancia entre eixos

3.2.4 Moviments angulars a la motocicleta

Hi ha tres moviments angulars per a tota partícula o cos tridimensional, òbviament en el cas de les motocicletes, com a cos que és, hi ha també tres moviments angulars que es detallen a continuació. Concretament són: el moviment angular de capcineig (al voltant d'un eix transversal), guinyada (al voltant d'un eix vertical) i el guerxament (al voltant d'un eix longitudinal).

La distribució de la massa és important perquè és la que regeix el que es coneix com a moments d'inèrcia. Aquests són una mesura de l'efecte d'inèrcia al voltant de cada eix en particular i el seu valor determina la facilitat amb què es pot aplicar una acceleració angular a la moto al voltant d'aquest eix. A continuació es descriuen concretament els tres tipus de moviments angulars segons explica l'enginyer i escriptor del llibre *Motocicletes Dinàmica de Motocicletes*, Tony Foale.

3.2.4.1 Capcineig

La inèrcia de capcineig controla la velocitat amb què la motocicleta s'enfonsa cap endavant o cap enrere davant diverses accions com poden ser: frenar, accelerar o circular per una carretera sots. En el disseny de motos de carretera contribueix a millorar el confort en accelerar o en passar sobre sots. Principalment l'eix de capcineig depèn de la geometria de la suspensió i de la duresa de les molles i / o l'oli utilitzat. Dels tres possibles moviments angulars, el capcineig és l'únic que suposa fonamentalment un moviment de la massa suspesa pel que fa a les rodes, ja que la inclinació i la guinyada són moviments relatius a les coordenades de la terra.

3.2.4.2 “Guinada”

Qualsevol vehicle està subjecte a cert grau d'acceleració de guinyada a l'entrar en un revolt. En aquest cas, l'elecció entre un moment d'inèrcia gran o petit té efectes contraposats. Per exemple, un valor alt millora l'estabilitat direccional mentre que

un valor baix facilita els canvis ràpids de direcció i minimitza els efectes d'un derrapatge. Dins dels límits pràctics, sembla millor aconseguir un baix moment de guinyada, la qual cosa implica concentrar la massa de la moto el més a prop possible del centre longitudinal de la mateixa. Naturalment, això fa que es redueixi el moment de capcineig també.

3.2.4.3 “Alabeo”

El moment d'inèrcia al voltant de l'eix d'inclinació és la suma de les components individuals de totes les masses multiplicada pel quadrat de la distància que els separa d'un eix d'inclinació que passi pel centre de gravetat. Un moment d'inèrcia sota voltant de l'eix de alabeig és desitjable per aconseguir sense gaire esforç canvis ràpids en l'angle de la inclinació de la moto.

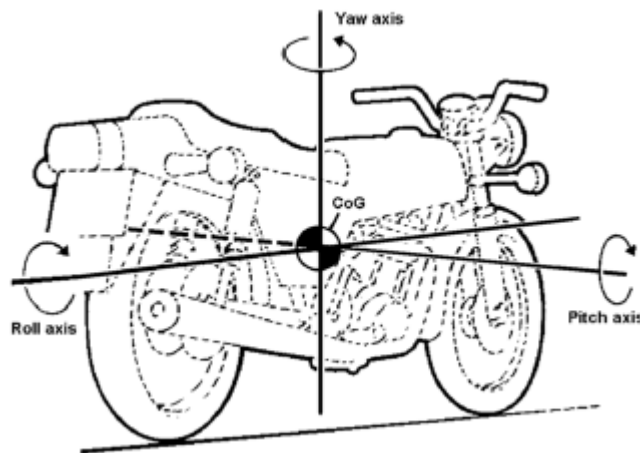


Figura 3.17 Eix de “guiñada” (yaw), de “cabeceo” (pitch) y de “alabeo” (roll)

3.2.5 Diàmetre exterior dels pneumàtics

Necessitarem el diàmetre exterior del pneumàtic per dibuixar la geometria. Aquest diàmetre ve determinat pels pneumàtics utilitzats. En aquest cas s'utilitzarà els pneumàtics que venen obligats pel reglament de la marca Dunlop i amb unes mides que són:

120/70/R17

180/55/R17

Aquesta designació es un estàndard. La primera xifra és l'amplada de la banda de rodadura en mil·límetres. La segona xifra indica el percentatge de l'altura del perfil del pneumàtic en funció de la seva amplada, per exemple, amb 180/55, tindrem una amplada de 180mm i una altura del perfil d'un 55% de 180mm. L'ultima xifra indica el diàmetre en polzades de la llanta.

Per calcular el diàmetre exterior farem servir la següent fórmula:

$$D_{ext}(mm) = D_{llanta}(in) \cdot 25,4 + \frac{2 \cdot Perfil(\%)}{100} \cdot Amplada(mm)$$

Això ens donarà com a resultat un diàmetre de 599.8mm a la roda anterior i de 629.8mm en la roda posterior.

3.2.6 Pes i posició

En el moment de dissenyar una motocicleta tan important és procurar un pes reduït per poder accelerar més ràpidament o frenar amb més facilitat, com una bona distribució del pes i naturalment una òptima distribució del centre de gravetat. Una distribució irracional o desproporcionada del centre de gravetat d'una motocicleta pot comportar seriosos problemes per a la integritat del pilot.

En primer lloc un pes contingut i un centre de gravetat baix ajuden a tenir un bon equilibri. A la Figura 3.16 es mostra com, per a un determinat grau d'inclinació, el parell que desestabilitza al pilot és directament proporcional al pes i a l'altura del centre de gravetat. El nostre pilot, motocicleta, benzina, olis tindrà un pes de 160Kg.

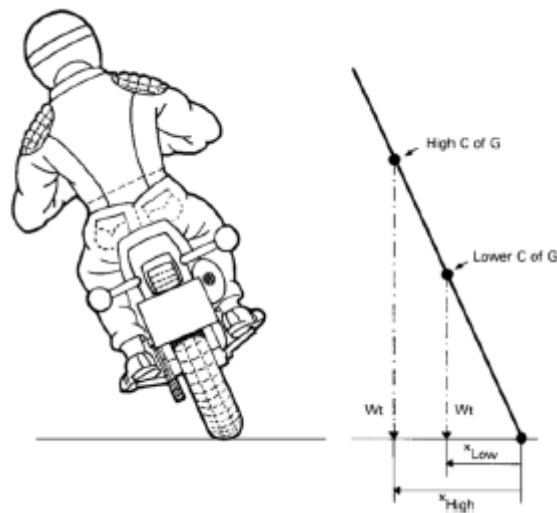


Figura 3.18 Efecte del CDG i el pes en l'equilibri

3.2.6.1 Tracció

La distribució del pes en la motocicleta ha de proporcionar dos aspectes fonamentals. D'una banda ha de carregar pes a la roda de darrere ja que és la que rep la potència del motor i aquesta la transmet a terra. Si la roda del darrere no és degudament distribuïda es produirà un derrapatge, és a dir el gir de la roda motriu però sense avançar en la direcció frontal. Com es pot imaginar aquest és un efecte no desitjat.

De la mateixa manera el tren davanter també ha de rebre un cert pes ja que és el que proporciona direccionalitat a la motocicleta. Si es carrega tot el pes enrere es provoqués un gir respecte la roda del darrere i un aixecament de la roda davantera. Òbviament, aquest efecte pot posar en perill la integritat del pilot. A més, en una motocicleta de circuit, on el temps per volta és important, aquest efecte provoca un temps volta sensiblement inferior.

3.2.6.2 Angle d'inclinació

L'angle d'inclinació necessari per equilibrar la força centrífuga quan es dona una corba, es veu afectat una mica per l'altura del centre de gravetat. A la Figura 3.17 es pot observar una motocicleta de tipus Trail, la qual gràcies al seu alt centre de gravetat proporcionen al pilot una gran facilitat per entrar en corbes.



Figura 3.19 Motocicleta Trail BMW R1200GS

3.2.7 Elecció de Geometries

Un cop coneguts els paràmetres geomètrics més importants i analitzada detingudament l'enorme influència d'aquests en el comportament de la motocicleta es procedirà al càlcul sobre quins valors han d'adoptar en el nostre disseny.

S'ha comprovat que no hi ha un sol disseny perfecte, sinó que hi ha diverses solucions que poden donar bons resultats. És per això que ens basarem en la experiència de marques contrastades en el món de la competició, analitzant les diferents eleccions de geometries i utilitzant-les per prendre la nostra pròpia decisió.

Es van a agafar sis models de diferents marques. A causa de l'escassetat d'informació tècnica pel que fa a geometries de les noves Moto3 de competició,

ens valdrem de models de l'antiga categoria de 125cc, pràcticament idèntiques en dimensions a les Moto3. Els dos últims models estudiats seran l'Honda NSF250R, una de les primers models de Moto3 a veure la llum, i l'Aprilia RS utilitzada també en competició.

Model	Distància entre eixos (mm)	Angle de llançament
Derbi GPR 125	1355	23°
Cagiva Mito 125	1375	22°50'
Aprilia RS 125	1345	23°
Yamaha YZF R125	1355	23°
Honda NSF 250R	1245	22°36'
Aprilia RS	1250	23°

Figura 3.20 Tabla comparativa de diferents models.

Es pot observar com l'angle de llançament amb prou feines varia, estant sempre al voltant dels 23 °. En el valor de la distància entre eixos si hi ha més disparitat de valors, variant entre els 1355 mil·límetres en les motos de carrer i reduint-se fins els 1250 mil·límetres en motos de competició. És per això que adoptarem en el nostre disseny de xassís uns valors intermedis que ens assegurin un correcte funcionament de la motocicleta, sent finalment aquests:

Una distància entre eixos: 1280-1330mm

Angle de llançament: 23°

L'avanç variarà en funció de la longitud de les forquilles, podent inclinar més o menys la moto, en funció de l'estil de conducció del pilot.

4 Disseny del xassís

Estudiant i valorant el coneixements teòrics de cada variable estructural que incideix en el comportament de la motocicleta juntament tenint com a referencia valors d'altres motocicletes on el caràcter és similar al que estem buscant, ens basarem amb el següents valors per fer un primer disseny del xassís.

- Distància entre eixos: 1290mm
- Angle de llançament: 23°
- Diàmetres de les rodes, Davantera: 599.8mm Darrera: 629.8mm
- Avanç: 95mm
- Alçada pivot eix basculant: 463mm
- Llargada basculant: 570mm
- Alçada pipa direcció: 888mm

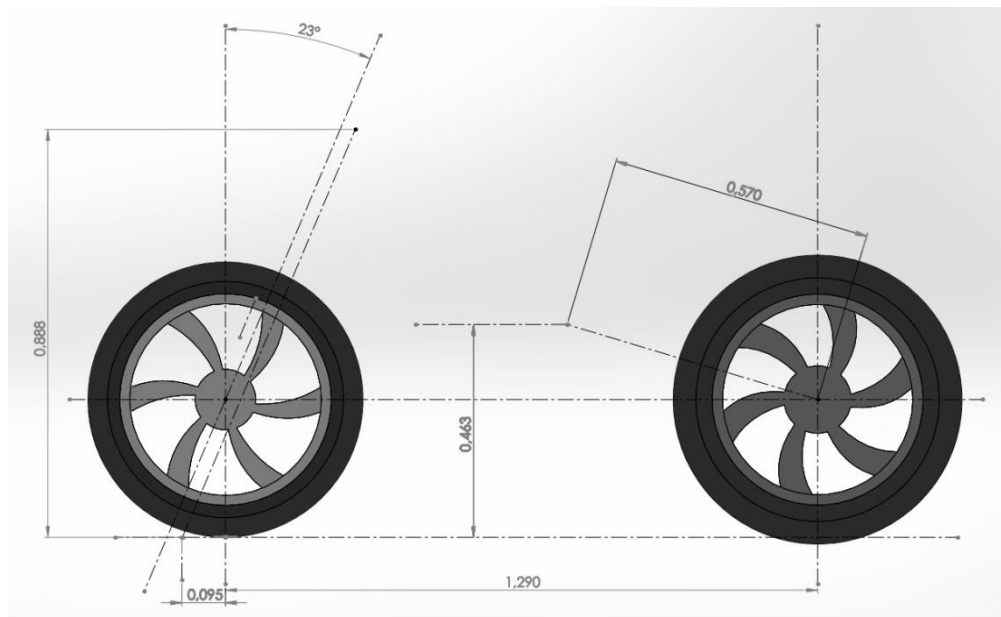


Figura 4.1 Geometria bàsica

4.1 Realització del disseny

Partint dels valors de la geometria bàsica es pot crear un primer disseny que s'aproximarà força al darrer ja optimitzat. Amb l'aplicació d'aquests valors podem trobar els punts més importants de la motocicleta que ens seran de gran utilitat alhora de dissenyar cada part.

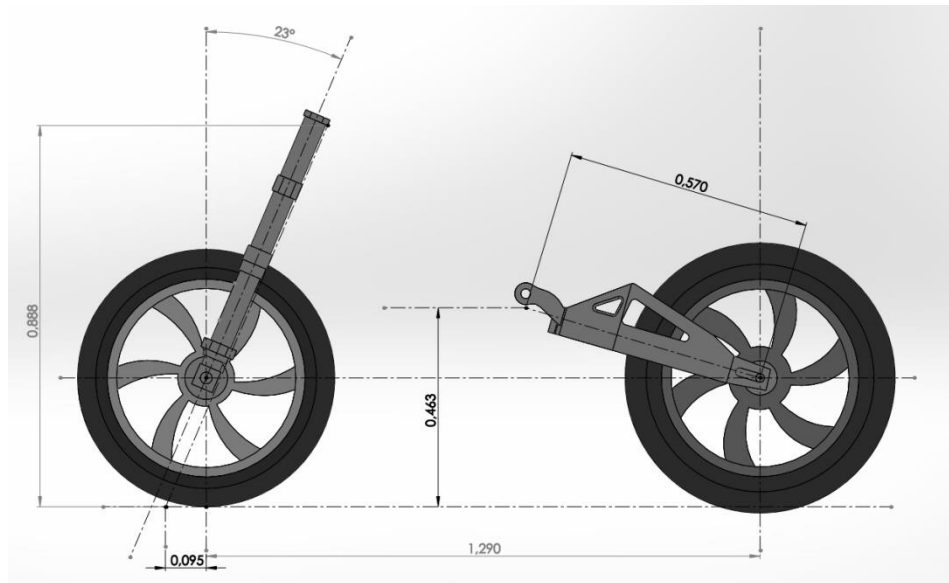


Figura 4.2 Disseny forquilla i xassís

Finalment el disseny del xassís juntament amb l'amortidor.

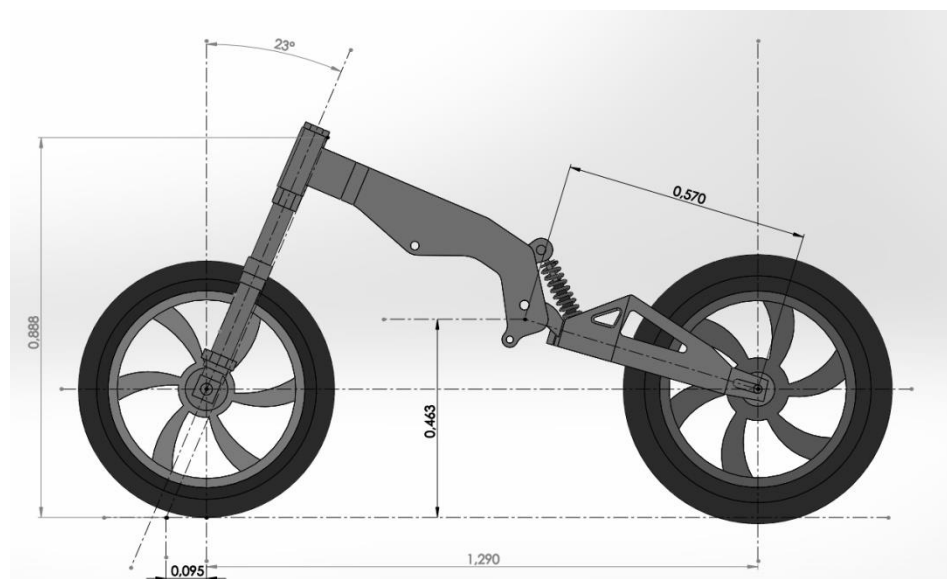


Figura 4.3 Disseny xassís

Per tenir una visió final es mostra unes perspectives amb 3D:

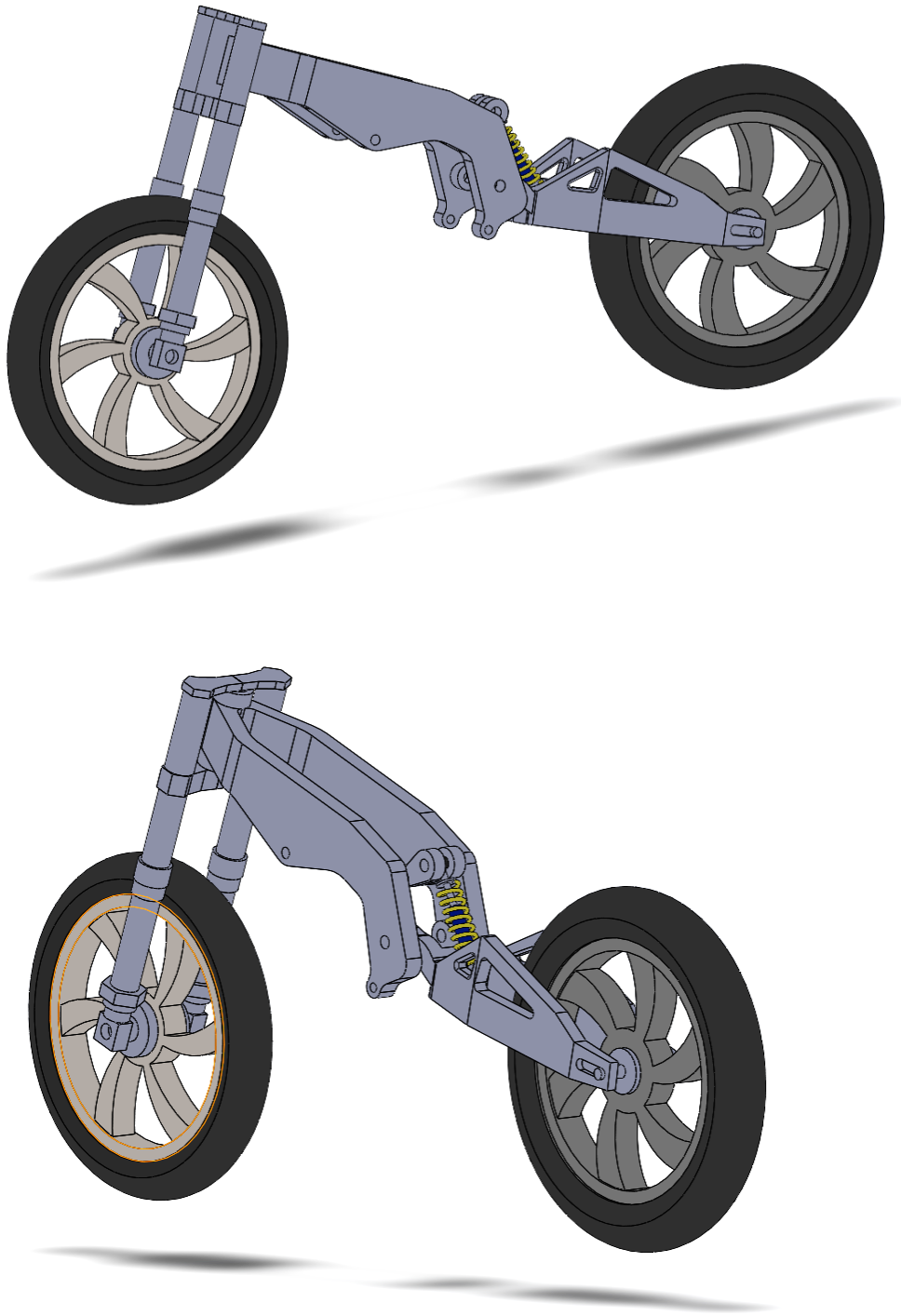


Figura 4.4 Disseny 3D

5 Anàlisi dels esforços sobre la motocicleta

En aquest apartat es mostren les principals forces a què és sotmesa la motocicleta a les diferents situacions de màxim esforç que es poden plantejar durant el seu ús, així com l'explicació de cadascuna d'elles. La bona obtenció d'aquestes dades és un aspecte decisiu en el desenvolupament del projecte, ja que posteriorment seran introduïts en el programa d'anàlisi per elements finits, el qual marcarà el camí a seguir per a l'optimització del disseny.

Es tractaran aquestes situacions de forma independent, explicant, mostrant gràfics i esbossos que aclareixin les forces que actuen sobre la motocicleta. les quatre situacions estudiades seran: la fase de màxima frenada amb la roda davantera, la de màxima frenada amb la roda del darrere, la de màxima acceleració i finalment la fase de màxima velocitat de pas per corba. S'han escollit concretament aquestes situacions pel fet que són aquelles que més exigeixen al xassís. Per començar l'estudi és necessari establir prèviament una sèrie de paràmetres quant a pes i geometria:

El pes total es considerarà de 160 Kg, amb pilot, gasolina i oli inclosos, a causa al fet que així ho marca el reglament de la competició "MotoStudent"; el coeficient de fregament entre el terra i els pneumàtics de 1.2 (màxima adherència per pneumàtic esportiu amb pista seca) estant dit coeficient majorat causa de la impossibilitat de la seva obtenció exacta. La distància entre eixos serà de 1290mm, podent variar gràcies als tensors del basculant. Un cop comprovat el repartiment de pesos en

cada situació de màxim esforç (60% eix davanter i 40% eix posterior), i obtingut l'angle podrem determinar el centre de gravetat en cada situació de màxim esforç.

$$X_{CDG} = \frac{L_r \cdot W_b}{W_t} = \frac{627,84 \cdot 1290}{1569,60} = 516mm$$

W_b: distància entre eixos

L_r: carrega que suporta la roda del darrera

W_t: pes total moto

No obstant això, el centre de gravetat no estarà fix degut entre altres coses al moviment del pilot en les corbes o al descens de la gasolina durant la carrera, disminuint per tant el pes total de la motocicleta. Això s'ha de tenir sempre present durant l'estudi perquè les dades obtingudes es corresponguin el màxim possible amb la realitat.

5.1 Forces durant la màxima frenada amb la roda davantera

En aquest apartat es tractarà la fase de màxima frenada amb la roda del davant, és a dir, es considera que només es frena amb el fre davanter amb la màxima eficiència possible. Això sotmetrà a màxima flexió el xassís, ja l'ús també del fre del darrere faria disminuir el moment que provoca la forquilla a la pipa del xassís.

En aquest cas el pes, aplicat verticalment cap avall al centre de gravetat, vindrà donat per P, mentre que F1 i F2 representaran les reaccions a aquest pes, estant aplicades verticalment cap amunt en el punt de contacte entre el sòl i el pneumàtic davanter i posterior respectivament. D'altra banda, FF serà la força de frenat en sentit oposat al moviment i FI la força d'inèrcia de la massa.

El vector resultant de la suma vectorial de P i FI estarà aplicat al centre de gravetat i al seu torn estarà alineat en el cas límit amb el vector resultant de la suma de la

suma vectorial de FF i F1. Si FF i FI augmentaran el seu valor per sobre de la situació límit el pneumàtic del darrere es s'enlairaria del sòl i la motocicleta començaria a girar sobre situat en el punt de contacte entre el pneumàtic davanter i el terra, contràriament al que succeiria en el cas d'acceleració màxima (més endavant vist). Per això, la situació límit la marcarà la màxima adherència del pneumàtic.

Seguint les dades geomètriques i el pes establert, tenim que:

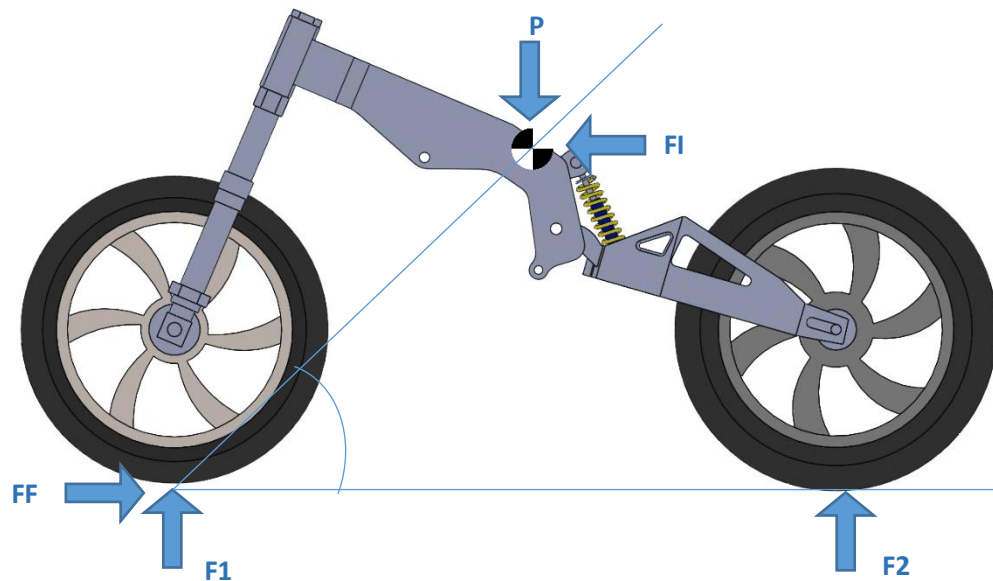


Figura 5.1 Forces que actuen en la frenada de la roda davantera

Condicció: $F_2 = 0$ pel fet que considerem la situació més desfavorable, en la qual s'ha enfonsat la forquilla i s'ha aixecat la roda del darrere, per aquest motiu $F_2 = 0$; per tant:

$$FF = FI$$

$$F_1 = P = 160 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1569,60 \text{ N}$$

$$FF = F_1 \cdot \mu = 1569,60 \cdot 1,2 = 1883,52 \text{ N}$$

$$A = \arctg(1569,60/1883,52) = 39,7^\circ$$

CDG en l'eix Y:

$$Y: \operatorname{tg}(39,7) \cdot 516 \text{ mm} = 428,40 \text{ mm}$$

5.2 Forces durant la màxima frenada amb la roda del darrere

En aquest apartat es tracten les forces resultants que apareixerien si es produís una frenada màxima només amb la roda del darrere. Aquesta situació tan sols sol donar-se durant petits instants de temps, a l'inici de la frenada, just abans d'accionar el fre davanter. Aquestes forces afectaran significativament menys al xassís però igualment han de ser estudiades i tingudes en compte.

En aquest cas, a diferència de l'anterior, sí que existeix normal en les dues rodes en tot moment. Cada força normal ha de ser el repartiment de forces per eix establert (60-40).

Un cop realitzats els càlculs i tenint en compte aquest coeficient teòric, obtenim les següents dades:

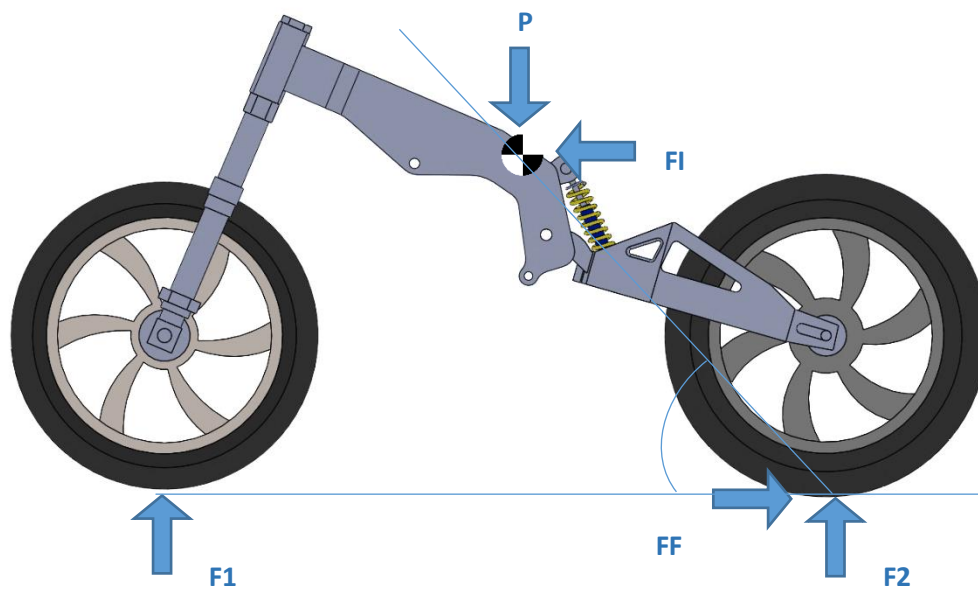


Figura 5.2 Forces que actuen en la frenada de la roda posterior

$$P=160\text{Kg}\cdot 9,81\text{m/s}^2=1569,60\text{N}$$

$$F_2=P\cdot 0,4=627,84\text{N}$$

$$F_1= P\cdot 0,6=941,76\text{N};$$

$$F_f=F_2\cdot \mu;$$

$$F_f=P\cdot 0,4\cdot \mu=(627,84)\cdot 1.2=753,41\text{N}$$

$$A=\arctg(627,84/753,41)=39,7^\circ$$

Aquest càlcul de la màxima frenada amb la roda posterior serà desestimat a causa d'uns valors reduïts comparats amb la frenada amb la roda davantera.

5.3 Forces durant la màxima acceleració

En aquest cas s'han d'observar les forces a què és sotmesa la motocicleta durant la fase de màxima acceleració. Com es pot veure en el dibuix, la força que provoca l'acceleració F_a està situada al punt de contacte entre el pneumàtic del darrere i el sòl, portant el mateix sentit que el moviment de la motocicleta. El pes es designa amb la lletra P , estant aplicat al centre de gravetat amb sentit descendent. D'altra banda, les seves reaccions F_1 i F_2 seran de sentit ascendent, estant aplicades en el punt de contacte entre el sòl i el pneumàtic davanter i darrere respectivament. Finalment, F_i representa la força que s'oposa a la acceleració a causa de la inèrcia de la motocicleta.

En la fase de màxima acceleració ens trobarem amb que la roda davantera estarà a punt de desenganxar-se del sòl, començant a girar la motocicleta en sentit de les agulles del rellotge sobre un eix imaginari situat en el punt de contacte entre el pneumàtic del darrere i el terra, de manera que el límit el marcarà l'adherència de l'esmentat pneumàtic.

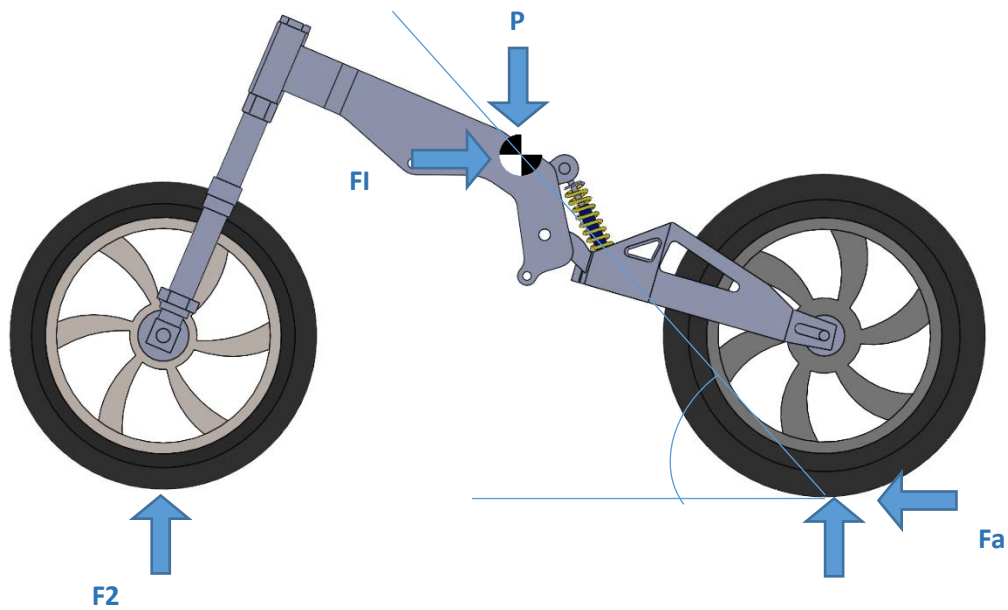


Figura 5.3 Forces que actuen a la màxima acceleració

Condició: $F1 = 0$; per tant:

$$F_a = F_I$$

$$F_2 = P = 150 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1569,60 \text{ N}$$

$$F_a = F_2 \cdot \mu = 1569,60 \cdot 1,2 = 1883,52 \text{ N}$$

$$A = \arctg(1569,60/1883,52) = 39,7^\circ$$

CDG en l'eix Y:

$$Y: \text{tg}(39,7) \cdot (1290 - 516) = 644,97 \text{ mm}$$

5.4 Forces durant la màxima velocitat de pas per corba

Finalment es realitzarà un estudi per determinar el valor de les forces que actuen sobre la motocicleta quan aquesta es troba en el punt d'inclinació màxima. Per això es considera la situació de màxima velocitat de pas per corba, en la qual no existiran ni forces d'acceleració ni forces de frenada, de manera que totes les forces aniran destinades a vèncer la força centrífuga.

El vector resultant de la suma vectorial de F_1 i N estarà alineat amb el vector resultant de la suma vectorial de P i F_c , tant en la roda del darrere com a la roda davantera. El punt d'aplicació de força entre els pneumàtics i l'asfalt es veurà desplaçat cap a la dreta respecte al pla de simetria vertical de la moto a causa de la inclinació. Aquest efecte és compensat pel pilot, que durant el pas per corba manté una posició "despenjat" cap a l'interior de la corba, movent així el centre de gravetat també cap a la dreta i provocant un esforç de torsió.

Tenint en compte tot això, una vegada realitzats els càlculs obtenim els següents dades:

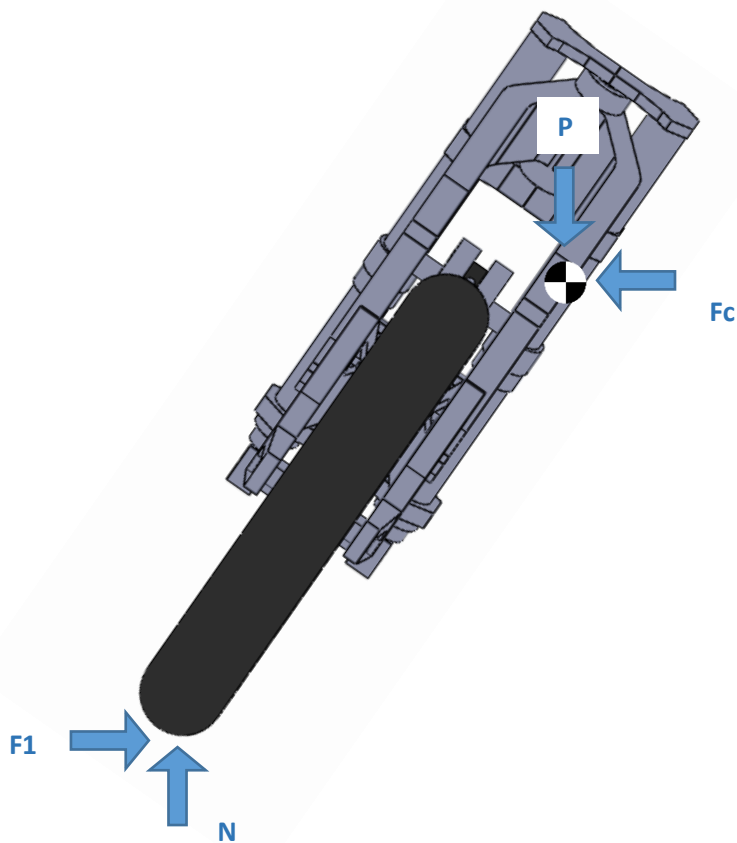


Figura 5.4 Forces que actuen al pas per corba

Condicció: $N = P/2$; per tant:

$$N = (160\text{Kg}/2) \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 784,80\text{N}$$

$$F_1 = N \cdot \mu = 784,8 \cdot 1.2 = 941,76\text{N}$$

$$A = \arctg(784,80/941,76) = 39,7^\circ$$

S'ha d'afegir el moment torsor provocat pel desalineament de les forces en l'eix longitudinal de la motocicleta. Si se considera que el neumàtic posterior es de 180mm, existeix un descentrament màxim de $d=85\text{mm}$. Si se calcula el torsor, s'obté:

$$F_t = \sqrt{784,80^2 + 941,76^2} = 1225,90\text{N}$$

$$M = F_t \cdot d = 1225,90 \cdot 0,085 = 104\text{Nm}$$

6 Estudi i elecció del material

En aquest capítol es decidirà sobre quin material serà emprat per a la fabricació del xassís. Es compararan uns materials amb d'altres, estudiant les seves prestacions i seleccionant el que millor s'adapti a les nostres necessitats. Un cop seleccionat es s'enumeraran les seves propietats.

A l'hora de decidir amb quin material es fabricarà el xassís cal tenir en compte una sèrie de característiques com ara: rigidesa, densitat, ductilitat, resistència, vida a fatiga i costos del material i del procés, així com dels mètodes d'unió disponibles o requerits. Els valors d'aquestes característiques dependran del tipus de ús i el grau d'exigència que es vulgui obtenir del xassís projectat.

Les tensions, especialment la tensió de trencament i el límit elàstic, es faran servir per mesurar la resistència del xassís. La tensió s'expressa com la força aplicada per unitat de secció transversal del material, i la relació entre la càrrega aplicada i la deformació que produeix s'anomena mòdul de Young.

Si s'aplica a un tros de material una tensió que estigui per sota del límit elàstic, tindrà lloc una certa deformació de caràcter elàstic, ja que en eliminar la tensió aplicada, el material tornarà a tenir la forma i mida anteriors. Pel contrari, si es continua aplicant més càrrega per sobre del límit elàstic, hi hauria un punt en el qual s'arribaria al límit de trencament i el material trencaria. El valor de la tensió que s'ha d'aplicar per arribar des del límit elàstic fins al límit de trencament dóna una idea de la ductilitat del material.

La ductilitat determina el tipus de trencament que pateix el material, de manera que si aquest pateix una gran deformació abans de trencar-se, es dirà que el material és dúctil. No obstant això, si es tracta d'un material que trenca sobtadament, amb

escassa deformació, es dirà que aquest és fràgil. En el cas que ens ocupa, els xassís de motocicleta, és recomanable que siguin fabricats amb materials dúctils, de tal manera que siguin capaços de suportar un cert nivell de sobrecàrrega sense arribar al trencament.

6.1 Estudi i selecció del material

Hi ha una àmplia gamma de materials idonis per a la fabricació d'un xassís, com el titani, el magnesi, l'acer al crom-molibdè, la fibra de carboni, i sobre tot l'acer i l'alumini. És per això que s'estudiaran cada un dels materials, comparant-los i seleccionant el que millor s'adapti a les nostres necessitats.

6.1.1 Titani

El titani és un element metàl·lic de color gris fosc, de gran duresa, resistent a la corrosió i de propietats físiques semblants a les de l'acer. Presenta una estructura hexagonal compacta, és dur, refractari i bon conductor de l'electricitat i la calor. També es caracteritza per la seva alta resistència a la corrosió i, quan està pur, es té un metall lleuger, fort, brillant i blanc metàl·lic d'una relativa baixa densitat. Posseeix molt bones propietats mecàniques i a més té l'avantatge ja esmentada, enfront d'altres metalls de propietats mecàniques similars, que és relativament lleuger.

L'aliatge més emprat és el Ti-6Al-4V (amb un 6% d'Alumini i un 4% de Vanadi), que té unes extraordinàries propietats mecàniques: Resistència a la tracció de 896 MPa, límit elàstic de 827 MPa, ductilitat del 10%, duresa de 33 HRB i una soldabilitat molt bona. Els aliatges de Titani permeten una la fabricació de peces amb una relació resistència / massa envejable i és possible això li faci ser el material del futur per a la construcció d'elements mecànics, amb resultats excepcionals, en el camp de les motocicletes de competició.

El principal problema de la seva utilització rau en l'alt cost comparat amb altres materials de característiques similars, així com la disponibilitat de mitjans per tractar-lo.

6.1.2 Magnesi

El magnesi elemental és un metall lleuger, mitjanament fort, color blanc platejat. En contacte amb l'aire es torna menys lluent, encara que a diferència d'altres metalls alcalins no necessita ser emmagatzemat en ambients lliures d'oxigen, ja que està protegit per una fina capa d'òxid, la qual és bastant impermeable i difícil de treure.

El magnesi, tant fos com treballat amb altres mètodes, s'ha fet servir per construir xassís d'espina central. A més de seu elevat cost i de les dificultats que presenta per a soldar, té la dificultat afegida d'una vida limitada, degut tant a la falla per fatiga com a la corrosió.

6.1.3 Acer al crom-molibdè

Menys comú que la resta en els xassís de motocicletes. Es tracta d'un dels acers inoxidable. Tant el crom com el molibdè es fan servir per evitar corrosió i oxidació. A més, el molibdè també li dona major resistència a impactes.

6.1.4 Fibra de carboni

S'anomena fibra de carboni al material compost de plàstic reforçat amb grafit o amb fibres de carboni. És un material molt car, fort i lleuger. el plàstic (Resina) és habitualment epoxy, encara que altres plàstics com el polièster també es usen com a base per a la fibra de carboni. La seva densitat és de 1.750 kg / m^3 . és conductor elèctric i de baixa conductivitat tèrmica. Posseeix una gran resistència mecànica, amb un mòdul d'elasticitat elevat, així com una baixa densitat en comparació amb altres materials com l'acer.

No obstant això, comparteix el mateix problema que el titani, el seu altíssim preu. Les raons de l'elevat preu dels materials realitzats en fibra de carboni es deuen a

dos factors principals. D'una banda el reforç, o fibra, és un polímer sintètic que requereix un car i llarg procés de producció, arribant a durar setmanes o fins i tot mesos. A més, d'altra banda, l'ús de materials termoestables dificulta el procés de creació de la peça final, ja que es requereix d'un complex utilatge especialitzat.

6.1.5 Acer

S'entén per acer l'aliatge de ferro i carboni en què el percentatge de carboni varia entre el 0,03% i el 2% en pes. Percentatges majors que el 2% de carboni donen lloc a les foses, mentre que aquells amb percentatges menors al 0,03% es denominen ferro dolç o simplement ferro.

La diferència fonamental entre acer i foses és que els acers són, per la seva ductilitat, fàcilment deformables en calent, bé per forja, laminació o extrusió, mentre que les foses es fabriquen generalment per modelatge. igualment el acer es distingeix del ferro en què pot temperar adquirint extraordinària duresa, mentre que el ferro dolç (tou i dúctil encara resistent) no pot endurir mitjançant aquest procediment. A l'estat endurit l'acer se li sol anomenar "acritud".

6.1.6 Alumini

L'alumini és un metall lleuger, tou però resistent d'aspecte gris platejat. La seva densitat és aproximadament un terç de la de l'acer, és molt mal·leable, dúctil i apte per a la mecanització i la fosa. A causa de la seva elevada calor d'oxidació es forma ràpidament a l'aire una fina capa superficial d'òxid impermeable i adherent que atura el procés d'oxidació proporcionant-li resistència a la corrosió i durabilitat.

L'elevada quantitat d'energia necessària per a la seva obtenció dificulta la seva major utilització, pel fet que augmenta el preu. A més és més difícil de treballar que altres materials com l'acer. No obstant això, això pot compensar-se amb el seu baix cost de reciclatge, la seva dilatada vida útil i l'estabilitat del seu preu.

6.1.7 Selecció del material definitiu del xassís.

Després de definir cada un dels materials i enumerar les seves propietats, així com verificar els resultats experimentals obtinguts al llarg de la història de la fabricació de xassís i comprovar els materials permesos per l'Organització de la competició, es pot concloure que els materials que millor s'adapten a les necessitats requerides són l'acer i l'alumini.

Els avantatges de l'acer sobre l'alumini resideixen que és més barat i més fàcil de treballar. A més, té una major tenacitat, és a dir, pot absorbir vibracions, torsions o impactes sense tallar-se o trencar-se. No obstant això, la fabricació del xassís serà marcada com a primordial en el projecte global de la construcció de la motocicleta, de manera que la diferència de preu entre acer i alumini es menysprearà, tractant de no escatimar despeses en aquest punt. D'altra banda, en el disseny es minimitzaran les vibracions, de manera que aquests desavantatges no seran tingudes especialment en compte.

Com avantatge de l'alumini sobre l'acer tenim que aquest és molt més lleuger que l'acer, al voltant de tres vegades, la qual cosa constitueix un gran avantatge aconseguint xassís molt resistents i lleugers, la qual cosa és el principal objectiu en el disseny. A més, l'alumini no s'oxida ni s'erosiona amb facilitat, al contrari que la majoria d'acers. És per tot això que el material escollit per a la fabricació del xassís serà el alumini, considerant aquest com el més idoni per cobrir les necessitats requerides en la competició.

6.2 Anàlisi de les propietats i elecció dels aliatges d'alumini.

Un cop seleccionat l'alumini com el material amb el qual es va a fabricar el xassís, s'haurà de decidir sobre quin tipus d'alumini emprar en cada un dels components. Per a això s'estudiaran diferents catàlegs i es consultarà l'opinió i experiència dels fabricants.

Per tal de facilitar l'observació de les diferències entre els aliatges d'alumini, s'il·lustraran en gràfiques cadascuna de les propietats més rellevants, veient com varia aquesta propietat en funció de l'aliatge. Posteriorment s'adjuntarà una taula amb els valors numèrics que tenen aquestes propietats en cada aliatge. Aquestes propietats seran la càrrega al trencament, el límit elàstic, l'allargament i la duresa.

6.2.1 Carga a trencament o resistència a la tracció

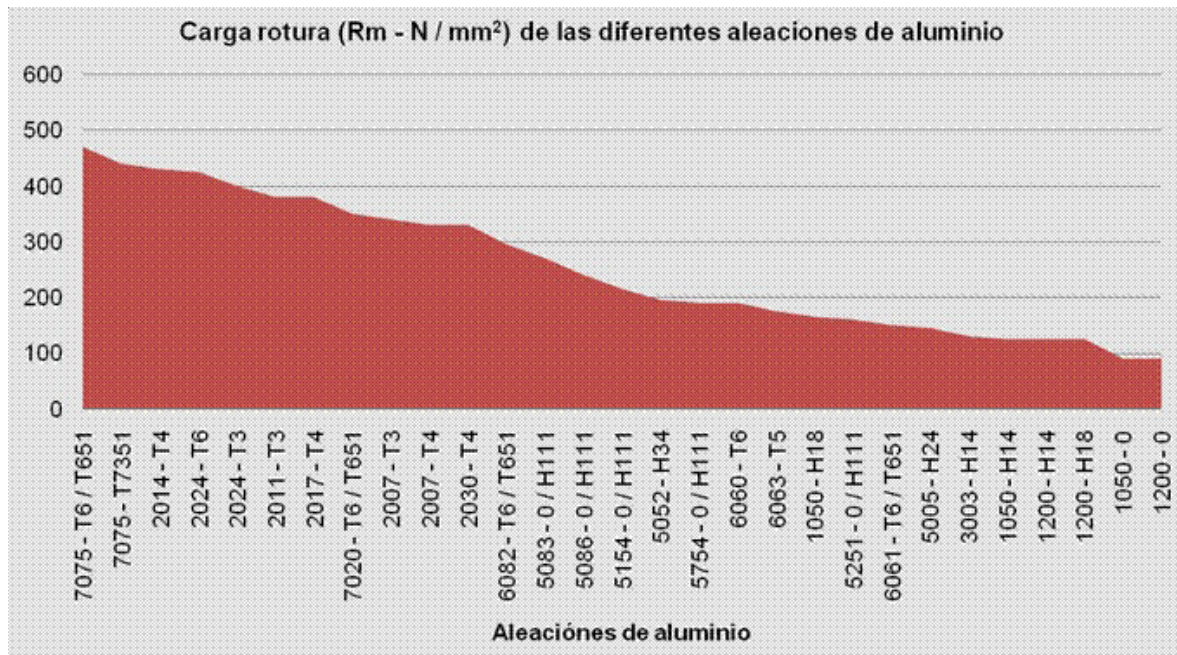


Figura 6.1 Gràfica de carga o trencament dels diferents aliatges d'alumini

ALEACION NORMAS A.A.	CARGA ROTURA $R_m - N / mm^2$
7075 - T7351	440
7075 - T6 / T651	470
2024 - T6	425
7020 - T6 / T651	350
2024 - T3	400
2007 - T3	340
2014 - T4	430
2007 - T4	330
2017 - T4	380
2011 - T3	380
6061 - T6 / T651	150
6062 - T6 / T651	295
2030 - T4	330
6060 - T6	190
5052 - H34	195
5083 - 0 / H111	270
5086 - 0 / H111	240
6063 - T5	175
5154 - 0 / H111	215
5754 - 0 / H111	190
5251 - 0 / H111	160
1200 - H18	125
3003 - H14	130
5005 - H24	145
1050 - H18	165
1200 - H14	125
1050 - H14	125
1200 - 0	90
1050 - 0	90

Figura 6.2 Valor numèric de carga a trencament

6.2.2 Límit elàstic

Tensió a partir de la qual el material té una deformació plàstica del 0,2%. Una vegada superat aquest límit elàstic el material no tornarà a recuperar la seva forma i dimensió anterior.

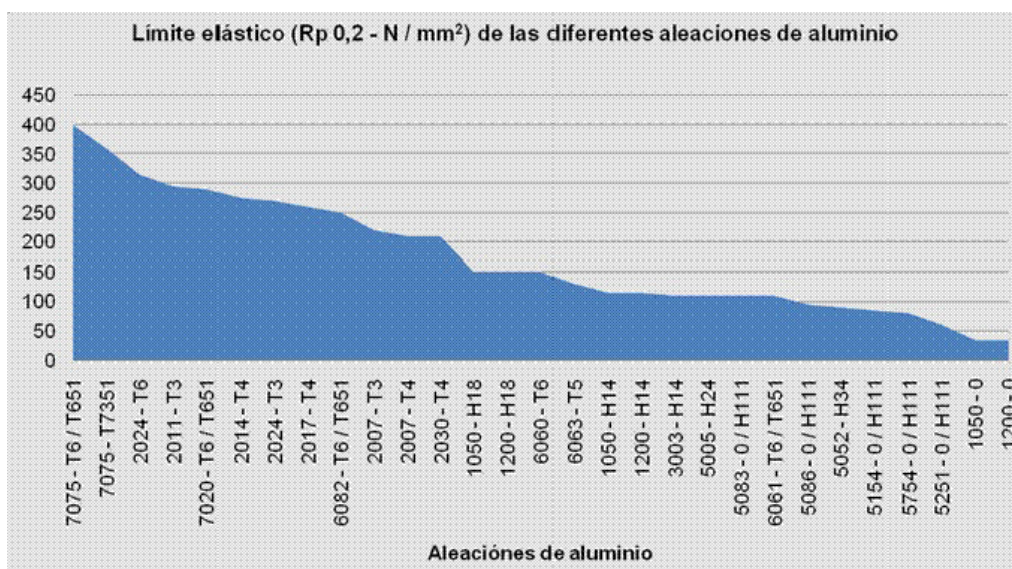


Figura 6.3 Gràfica de límit elàstic dels diferents aliatges d'alumini

ALEACION NORMAS A.A.	LÍMITE ELÁSTICO $R_p 0,2 - N / mm^2$
7075 - T7351	380
7075 - T6 / T651	400
2024 - T6	315
7020 - T6 / T651	290
2024 - T3	270
2007 - T3	220
2014 - T4	275
2007 - T4	210
2017 - T4	280
2011 - T3	295
6061 - T6 / T651	110
6082 - T6 / T651	250
2030 - T4	210
6060 - T6	150
5052 - H34	90
5083 - O / H111	110
5086 - O / H111	95
6063 - T5	130
5154 - O / H111	85
5754 - O / H111	80
5251 - O / H111	60
1200 - H18	150
3003 - H14	110
5005 - H24	110
1050 - H18	150
1200 - H14	115
1050 - H14	115
1200 - O	34
1050 - O	34

Figura 6.4 Valor numèric del límit elàstic

6.2.3 Allargament

Augment de longitud (%) que té un material quan se li sotmet a un esforç de tracció abans de produir-se el seu trencament.

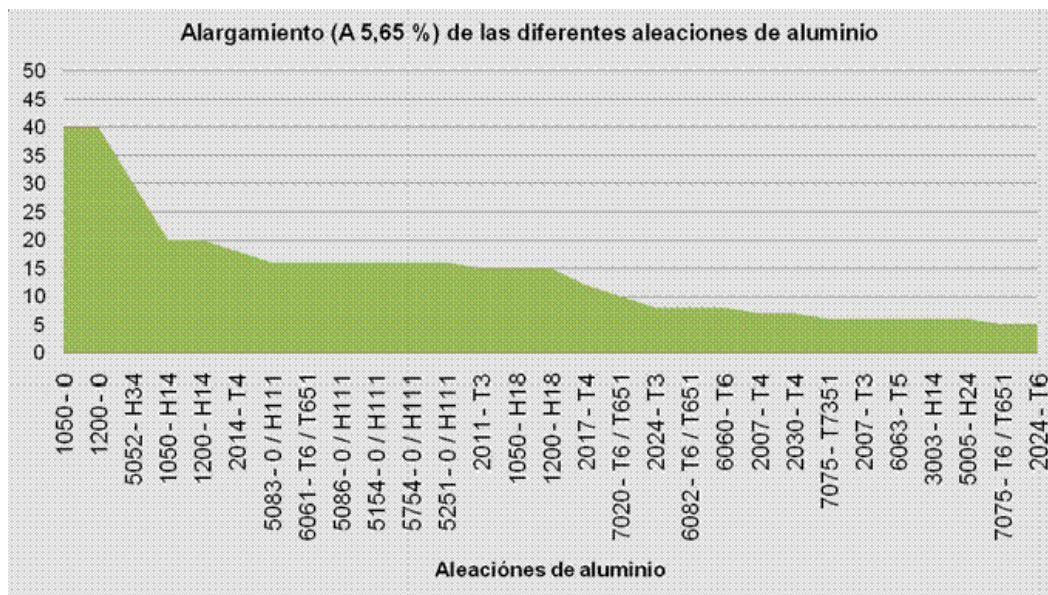


Figura 6.5 Gràfica d'allargament dels diferents aliatges d'alumini.

ALEACION NORMAS A.A.	ALARGAMIENTO A 5,65 %
7075 - T7351	6
7075 - T6 / T651	5
2024 - T6	5
7020 - T6 / T651	10
2024 - T3	8
2007 - T3	6
2014 - T4	18
2007 - T4	7
2017 - T4	12
2011 - T3	15
6061 - T6 / T651	16
6062 - T6 / T651	8
2030 - T4	7
6060 - T6	8
5052 - H34	30
5083 - 0 / H111	16
5086 - 0 / H111	16
6063 - T5	6
5154 - 0 / H111	16
5754 - 0 / H111	16
5251 - 0 / H111	16
1200 - H18	15
3003 - H14	6
5005 - H24	6
1050 - H18	15
1200 - H14	20
1050 - H14	20
1200 - 0	40
1050 - 0	40

Figura 6.6 Valor numèric d'allargament.

6.2.4 Duresa

En tractar de la duresa Brinell, mesurarà la penetració d'una bola d'acer en el material a estudiar.

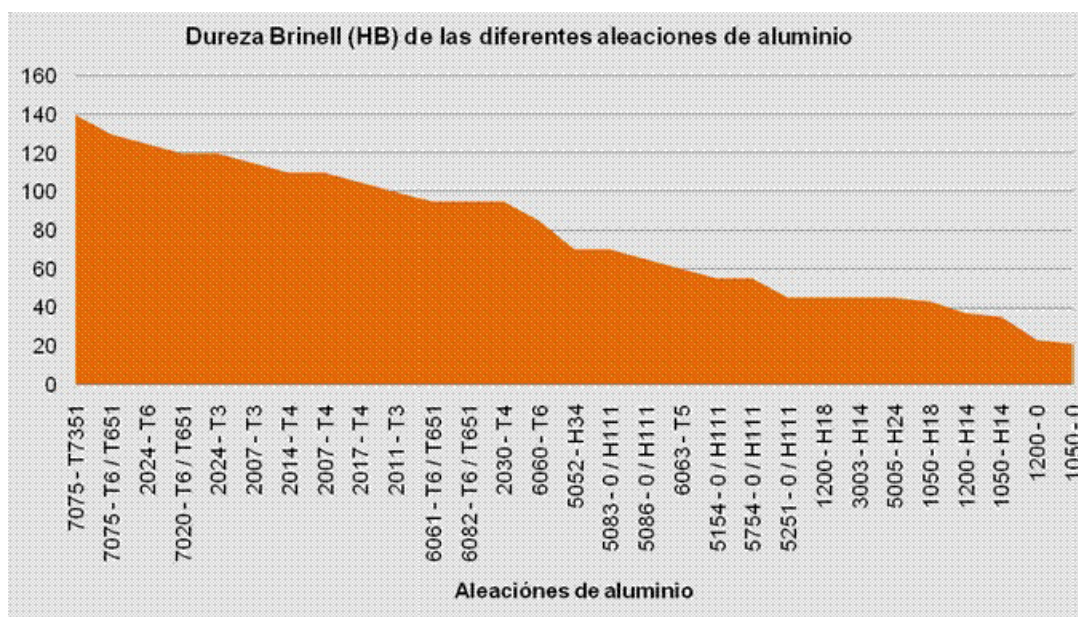


Figura 6.7 Gràfica de duresa Brinell dels diferents aliatges d'alumini.

ALEACION NORMAS A.A.	DUREZA BRINELL HB
7075 - T7351	140
7075 - T6 / T651	130
2024 - T6	125
7020 - T6 / T651	120
2024 - T3	120
2007 - T3	115
2014 - T4	110
2007 - T4	110
2017 - T4	105
2011 - T3	100
6061 - T6 / T651	95
6082 - T6 / T651	95
2030 - T4	95
6060 - T6	85
5052 - H34	70
5083 - 0 / H111	70
5086 - 0 / H111	65
6063 - T5	60
5154 - 0 / H111	55
5754 - 0 / H111	55
5251 - 0 / H111	45
1200 - H18	45
3003 - H14	45
5005 - H24	45
1050 - H18	43
1200 - H14	37
1050 - H14	35
1200 - 0	23
1050 - 0	21

Figura 6.8 Valor numèric de duresa Brinell

6.2.5 Selecció d'aliatges

Després d'observar i comparar les propietats més rellevants dels diferents aliatges, i consultar l'opinió d'experts en la matèria, s'ha realitzat una valoració sobre el millor resultat qualitat / preu.

El resultat obtingut indica que la millor aliatge per a la fabricació del xassís és el **6082-T6**. Es pot observar que aquest material es troba a la zona mitjana-alta en l'anàlisi de les propietats més importants, el que fa notar que es tracta d'un excel·lent material, sense arribar a ser el millor, de manera que el seu preu no és excessivament elevat.

6.3 Descripció de l'aliatge seleccionat

Les principals normes que es refereixen als aluminis són les normes U.N.E. (Europa), AFNOR (França), AA (Estats Units), D.I.N. (Alemanya) i U.N.I. (Itàlia). En totes elles es pot observar que el primer dígit del 6082-T6, el 6 indica que es tracta d'un aliatge d'alumini-silici-Magnesi. D'altra banda la "T" indica que han suportat un tractament tèrmic de enduriment estructural per produir estats diferents F, O i H. Aquesta "T" s'aplica a semi-productes en què s'augmenta la seva resistència mecànica mitjançant tractament tèrmic amb o sense acritud suplementària, per obtenir estats estables. La lletra "T" va sempre seguida d'un o més dígits.

6.3.1 Aliatge 6082-T6

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos		Al
Mínimo	0,70			0,40	0,60				Otros	Total	
Máximo	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,20	0,10	0,05	0,10	El resto

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N / mm ²	Peso específico g / cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1 / 10 ⁶ K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μΩ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
70.000	2,71	575 - 650	23,1	T4 - 167 T6 - 172	T4 - 4,1 T6 - 3,9	T4 - 42 T6 - 44	- 0,83

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	395	330	16	330	290	13	315	280	12	315	280	12	300	265	14
Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	240	220	17	130	105	28	50	35	60	30	18	80	20	12	85

Rm N/mm² ; Rp N/mm² ; A 5,65 %.

Según normas A.A.

Aquest aliatge és de característiques mitjanes i bona forjabilitat. Aquest aliatge que endureix per tractament tèrmic, té una bona aptitud a la soldadura però perd gairebé un 30% de la càrrega de trencament a la zona soldada, per la qual cosa s'aconsella fer un tractament de maduració per recuperar les característiques perdudes. És per això que se li realitza el tractament tèrmic T6. Tal com es pot observar en les gràfiques del apartat anterior, aquest aliatge posseeix una resistència a la tracció de 295 MPa i un límit elàstic de 250 MPa.

S'entén per T6 el tractament tèrmic de solució, tremp i maduració artificial. És aplicat als semi-productes que després d'un tractament de solució tremp i maduració artificial milloren les seves propietats mecàniques. S'inclouen en aquest estat els productes que després del tremp són sotmesos a un aplanat o redreçat per tracció sense efecte sobre les propietats mecàniques.

7 Anàlisi per elements finits

7.1 Anàlisi

Per l'anàlisi dels xassís, s'ha utilitzat la plataforma simulation integrada al solidworks. Al ser un programa utilitzat en anterioritat en diferents matèries del grau en enginyeria mecànica, ens ha aportat el coneixement ràpid dels mòduls dels que disposa. De tal manera que es pot unificar la part del disseny 3D juntament amb el anàlisi per elements finits. Tot i que el software esta destinat a ús més pròxim al disseny, el resultat facilitat pel mòdul Simulation ha estat molt correcte.

Durant l'anàlisi per elements finits (CAE) del nostre xassís, hi ha uns processos a seguir per poder dur-ho a terme, que són:

- Pre-procés
- Procés
- Post-procés

7.1.1 Pre-procés

Es la primera part de l'anàlisi, on es preparen les dades, com les coordenades nodals, la connectivitat, les condicions de frontera i la informació sobre carregues i material. En el nostre cas al fer el CAD amb el mateix programa que el CAE, no tenim molt problemes pel tractament de l'estructura. En molts casos es important entendre quines parts de l'estructura no son rellevants, pel nostre estudi CAE. I aquestes parts s'han de treure del CAD per poder simplificar els càlculs del procés.

7.1.2 Procés

Es la segona part d'un estudi CAE. És el punt on el programa ja te totes les dades d'interès entrades i el programa realitza els càlculs, resol les equacions. En aquest

punt el usuari de programes CAE, normalment no té accés a com realitzar els càlculs ja que el programa fa el tractament de dades de manera restringida.

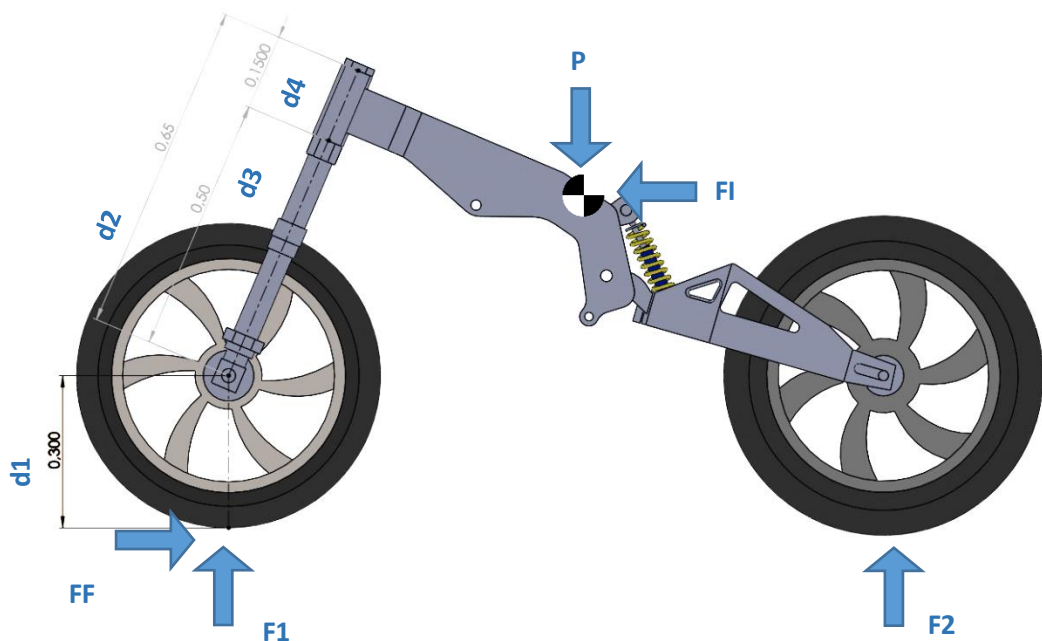
7.1.3 Post-procés

És la tercera i última part de l'anàlisi CAE. És el punt on el programa representa tots els resultats calculats: distribució d'esforços, les deformacions unitàries, el factor de seguretat, desplaçaments, tensions.

7.2 Preparació de les forces per l'estudi d'elements finits

7.2.1 Forces resultants de la frenada màxima amb la roda davantera

La força exercida per la normal al pneumàtic es transmet a través de la roda davantera i posteriorment a través dels rodaments de la pipa de direcció.



$$F1 = 1569,60\text{N}$$

$$FF = 1883,52\text{N}$$

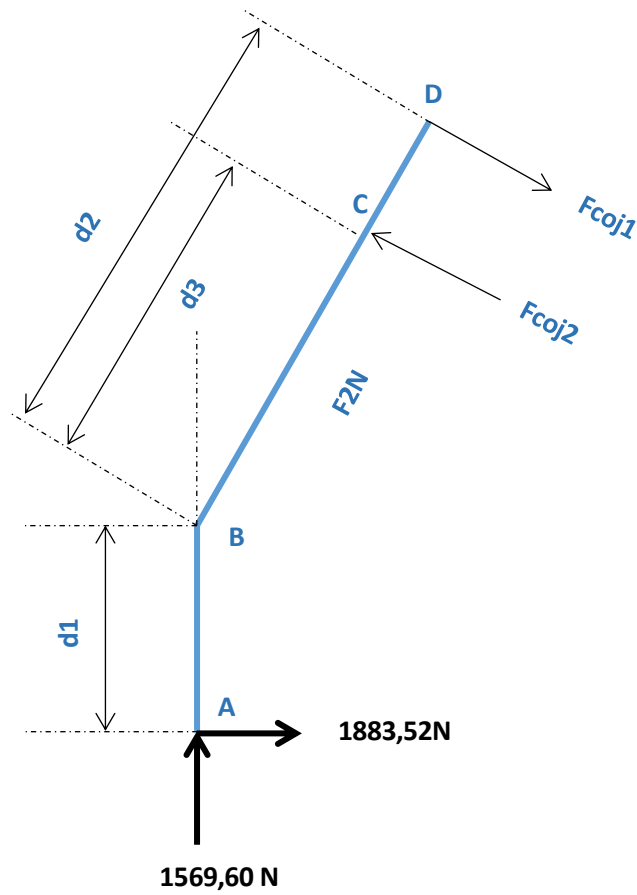
$$F2 = 0\text{N}$$

$$d1 = 300\text{ mm}$$

$d_2=650\text{mm}$

$d_3=500\text{mm}$

$d_4=150\text{mm}$



$$\sum MB = 0$$

$$1883,52 \cdot 0,30 + F_{coj2} \cdot 0,50 = F_{coj1} \cdot 0,65$$

$$\sum MD = 0$$

$$F_{coj2} \cdot 0,15 + 1569,60 \cdot 0,65 \cdot \sin(23) = 1883,52 \cdot (0,65 \cdot \cos(23) + 0,3)$$

$$F_{coj2} = 8622,60\text{N}$$

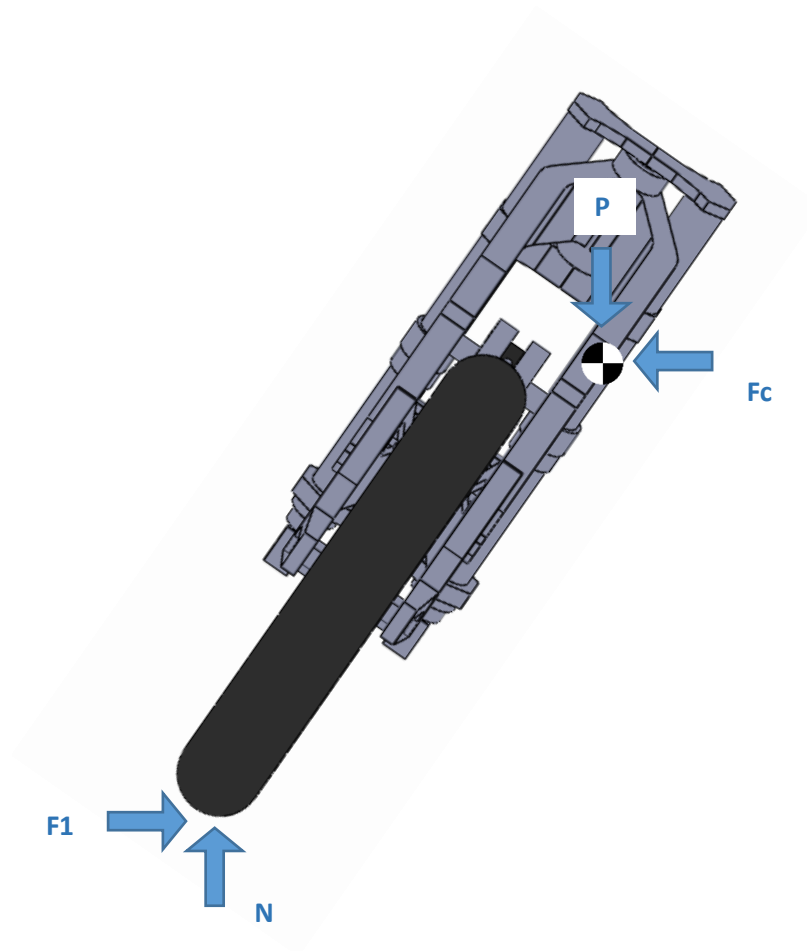
$$F_{coj1} = 7502,08\text{N}$$

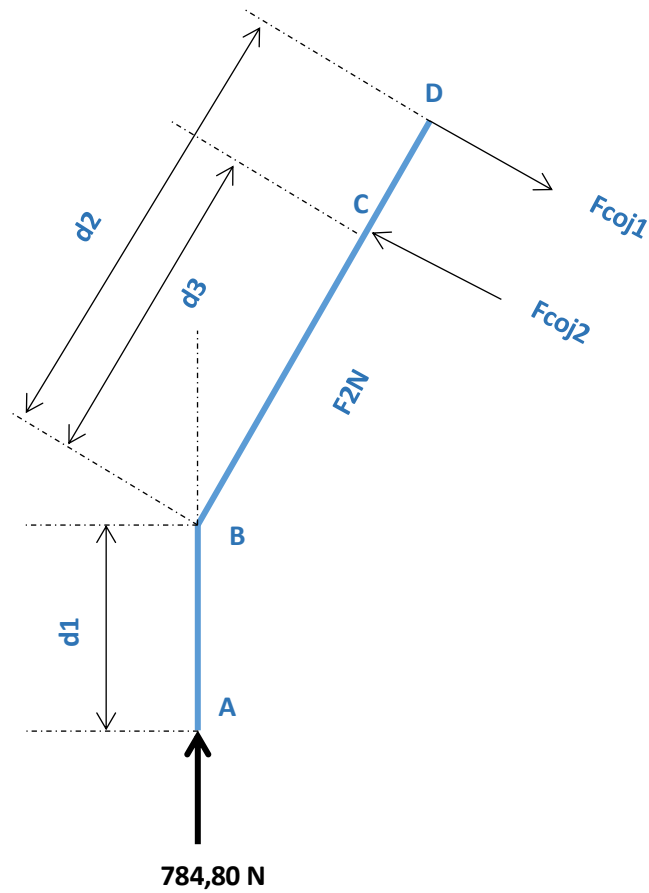
$$\sum F_y = 0$$

$$F_2 N \cdot \cos(23) + F_{coj1} \cdot \sin(23) - F_{coj2} \cdot \sin(23) - 1569,60 = 0$$

$$F_2 N = 2181,98 \text{ N}$$

7.2.2 Forces resultants de la màxima inclinació en corba.





$$\sum MB = 0$$

$$F_{coj2} \cdot 0.50 = F_{coj1} \cdot 0.65$$

$$\sum MD = 0$$

$$F_{coj2} \cdot 0.15 = 784,80 \cdot (0.65 \cdot \sin(23))$$

$$F_{coj2} = 1328,80 \text{ N}$$

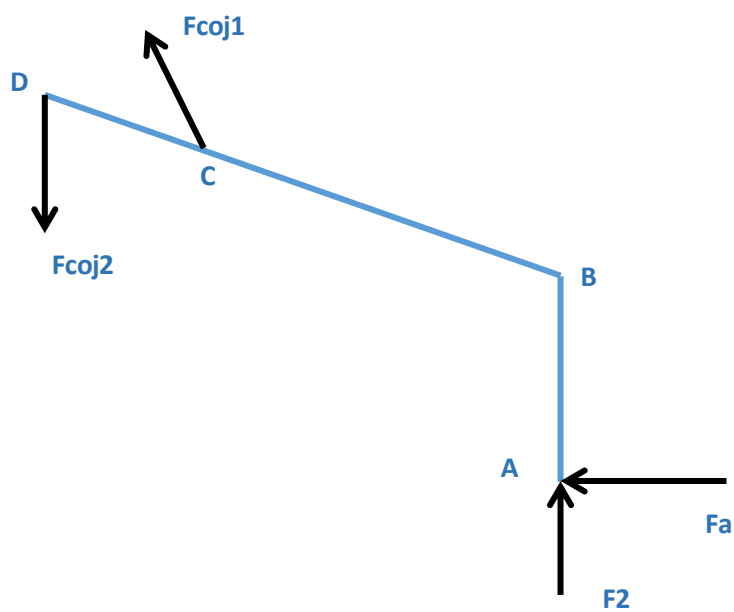
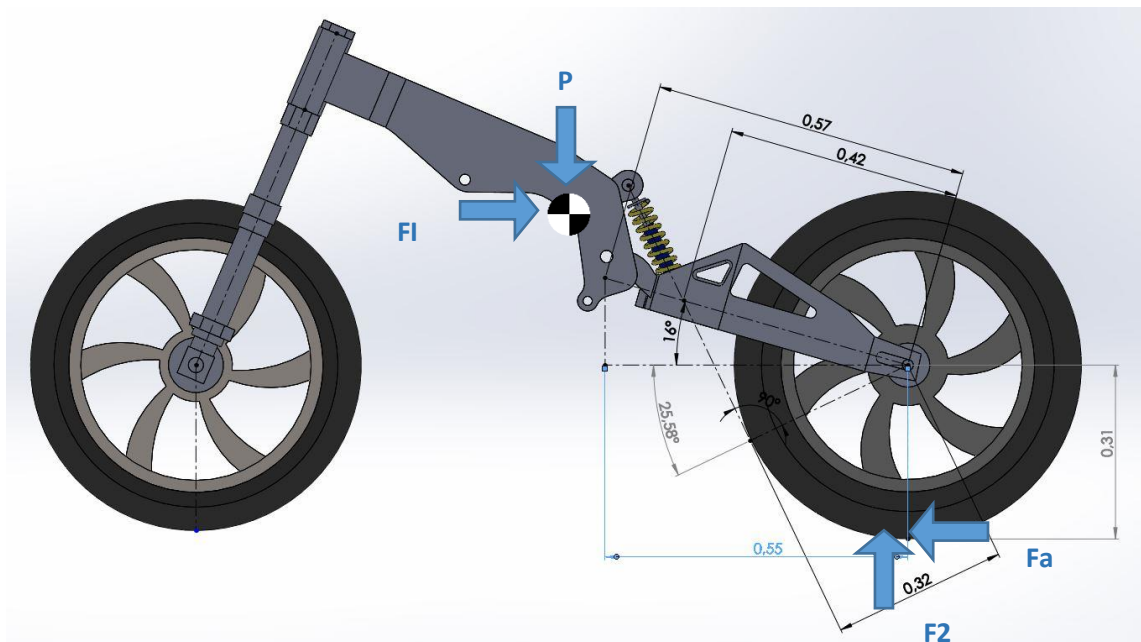
$$F_{coj1} = 1022,15 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$F_{2N} \cdot \cos(23) + F_{coj1} \cdot \sin(23) - F_{coj2} \cdot \sin(23) - 784,80 = 0$$

$$F_{2N} = 983,27\text{N}$$

7.2.3 Forces resultants de la màxima acceleració



$$F_2 = P = 1569,60\text{N}$$

$$F_a = 1883,52\text{N}$$

$$\sum MD = 0$$

$$F_{coj1} \cdot 0.11 - F_a \cdot 0.47 + F_2 \cdot 0.55 = 0$$

$$F_{coj1} = 199,72\text{N}$$

$$\sum MC = 0$$

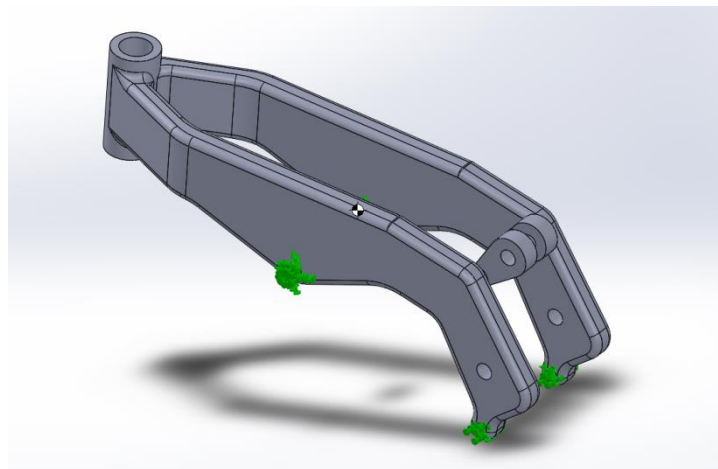
$$F_{coj2} \cdot 0.14 + F_2 \cdot 0.41 - F_a \cdot 0.42 = 0$$

$$F_{coj2} = 1053,79\text{N}$$

7.3 Estudi del Xassís

En l'estudi d'elements finits, el primer que hem fet es definir el tipus de material que utilitzarem per la nostra estructura, alumini **6082-T6** descrit anteriorment.

Un cop definit el material, hem definit els punts de fixació del xassís per poder limitar el seu moviment, en el nostre cas em escollit com a punts de fixació, els punts de subjecció del motor amb el xassís.

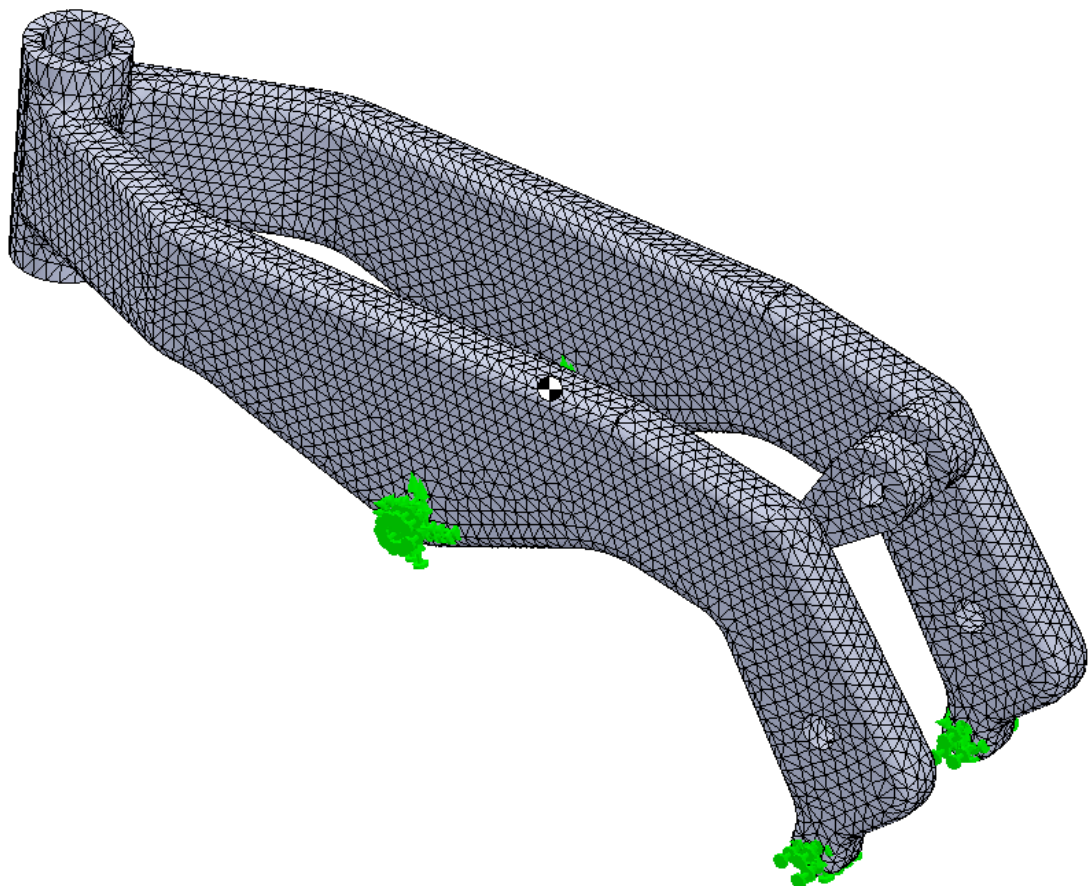


Un cop fixat, hem introduït les carregues, en cada moment de l'estudi. Les carregues varien segons si estem frenant, en pas de corba o accelerant.

Les connexions entre les nostres peces, les hem considerat com fixes. Degut a que la unió entre elles es per soldadura i el nostre interès es crear una estructura rígida.

Un cop introduïdes les variables d'estudi en el nostre pre-procés, iniciem el procés, inicialitzant els càlculs.

El primer càlcul es el mallat de tota l'estructura, en aquest cas em escollit una mesura de malles el més reduït possible per tal d'aproximar-se al màxim als resultats del nostre anàlisi a la realitat.



En l'estudi del xassís hem fet l'anàlisi de l'estructura en 3 moments molt diferents de treball, que son:

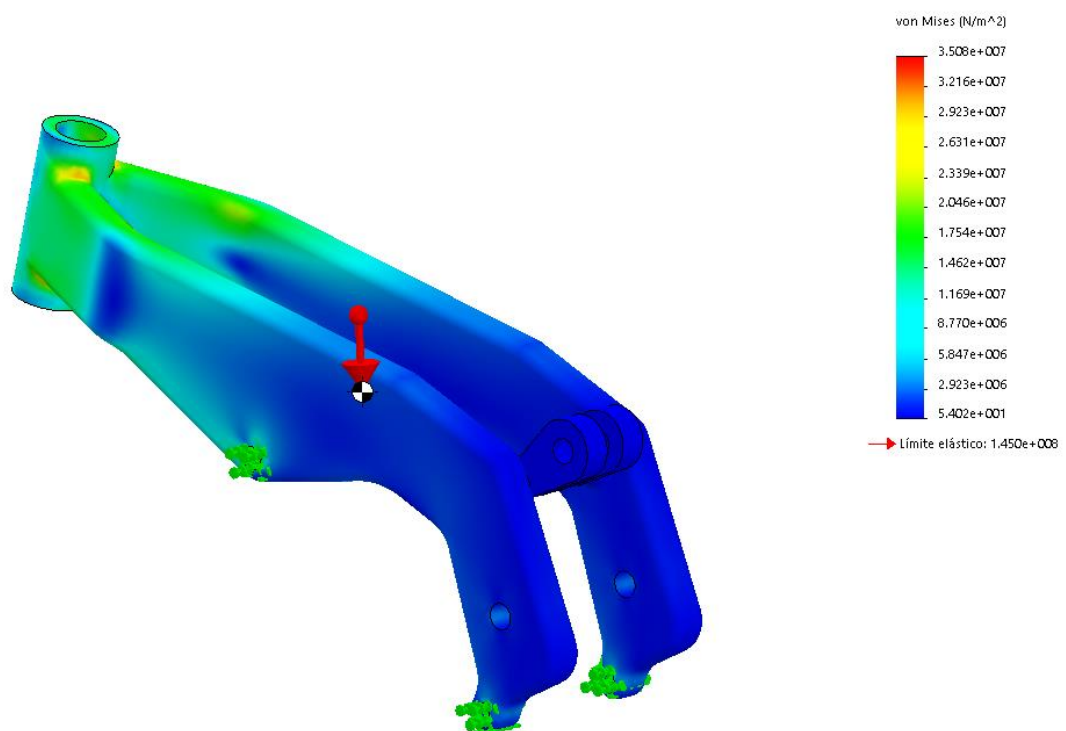
-Frenada Màxima

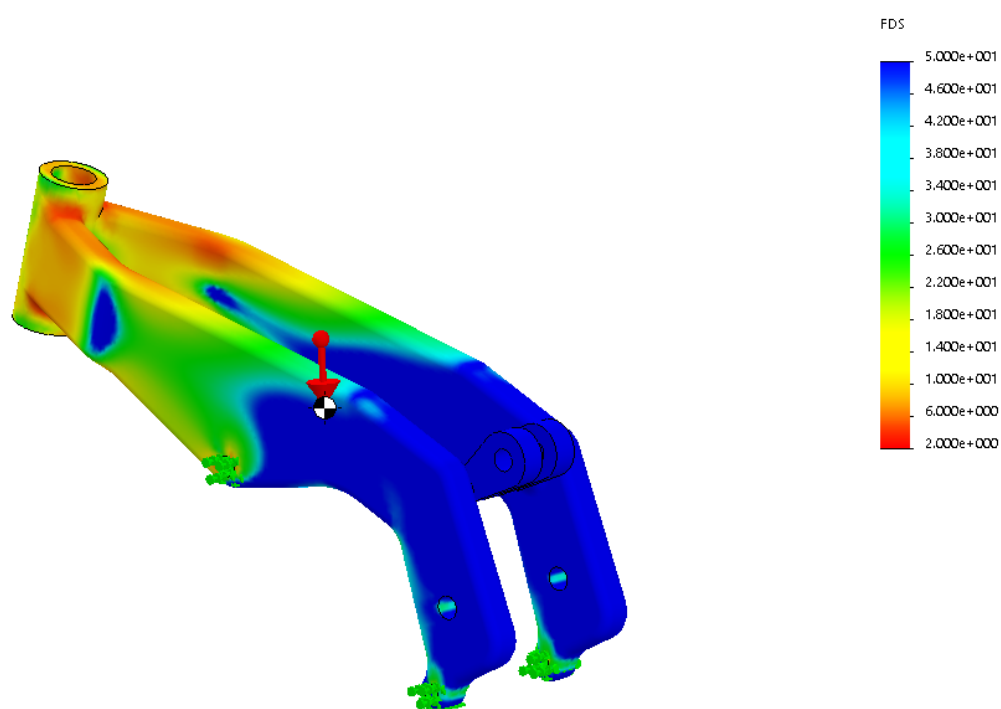
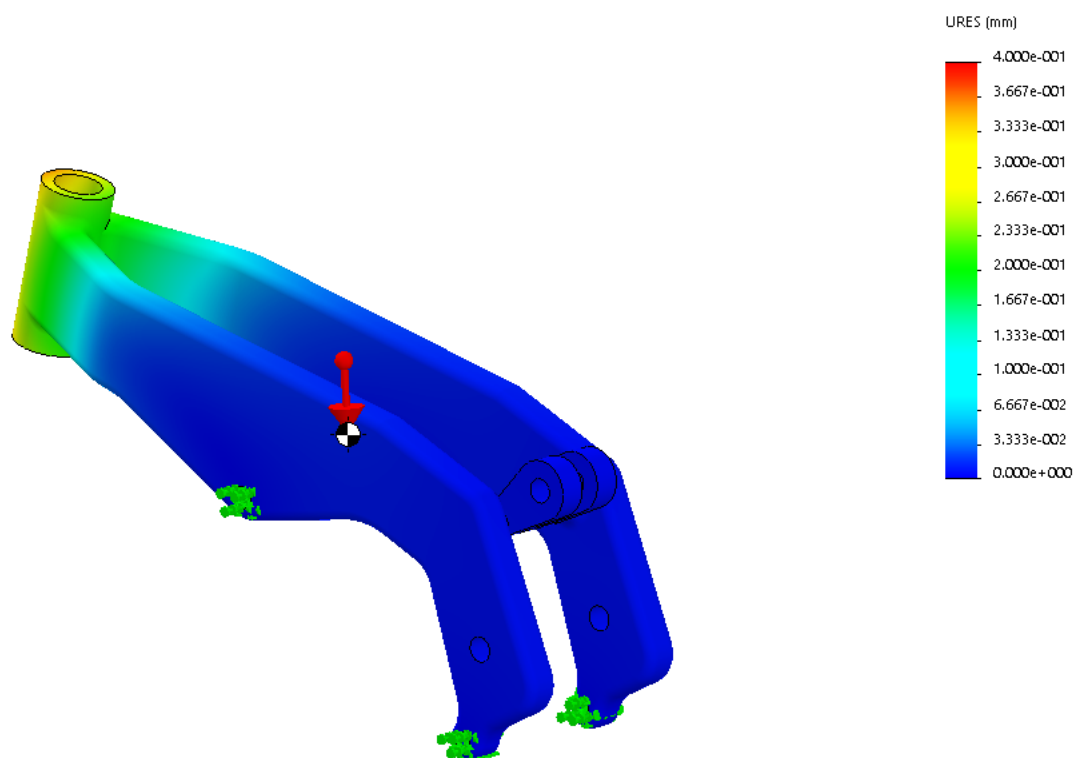
-Pas per corba

-Acceleració

7.3.1 Resultats de frenada màxima

En aquest estudi de frenada màxima la part on hi ha les sol·licitacions més elevades es a la zona de la pipa de direcció, ja que la transferència de pesos es la roda posterior a l'anterior.

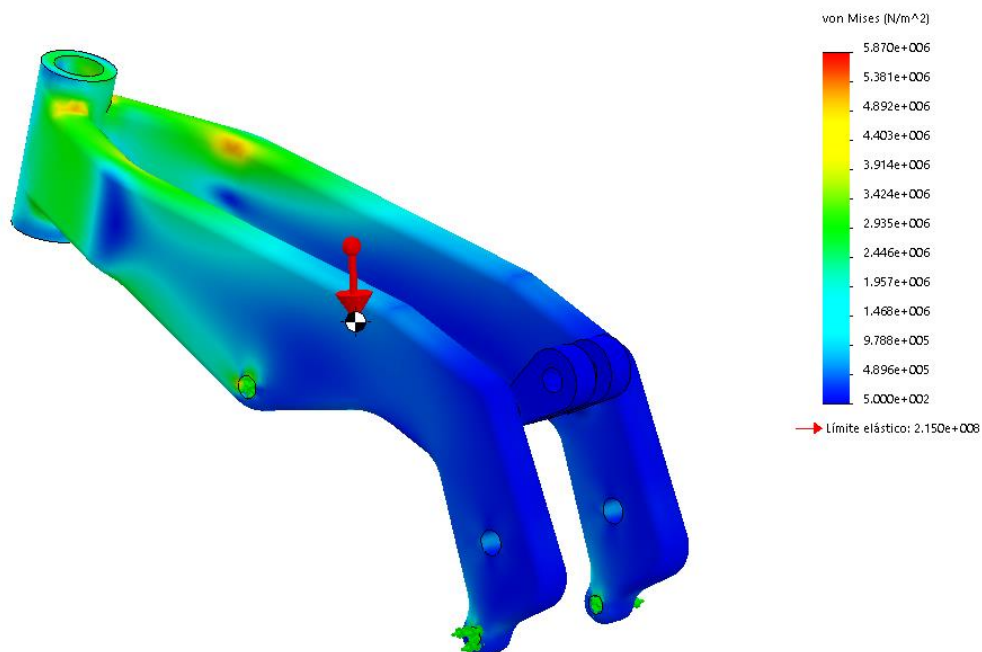


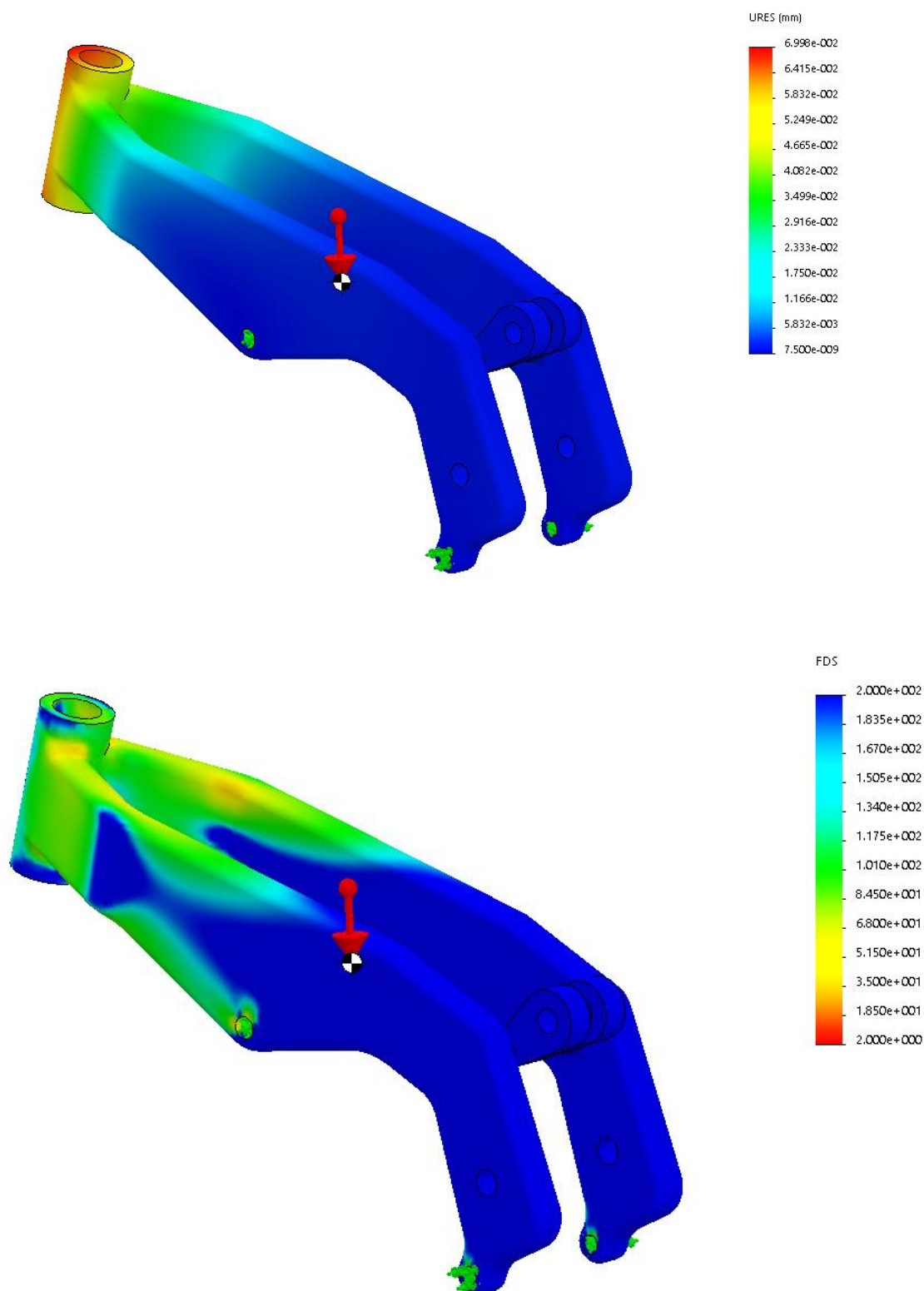


En l'anàlisi de frenada màxima, els esforços a que es sotmet la part frontal del xassís, l'estat tensional de von mises compleix amb quasi be tota la seva estructura un estat allunyat del seu límit elàstic, trobant a la unió de la doble biga amb la pipa de direcció el punt més crític, però igualment per sota del límit elàstic. Pel que fa als desplaçaments es pot observar el punt més crític a la zona frontal de la pipeta de direcció trobant-se aproximadament sobre els 0,33mm de desplaçament. Finalment per poder assegurar-nos del factor de seguretat s'observa l'estudi d'aquest, poden observar que te diferents punts crítics però cap d'aquest te el color vermellós extrem que indicaria un valor de FDS=2, es a dir trobant el punt més crític amb FDS=3 aproximadament.

7.3.2 Resultats de pas de corba

En aquest estudi de pas de corba s'estudia la reacció del xassís davant les forces a les quals esta sotmès en aquesta situació, buscant sempre els punts de màxima sol·licitació.

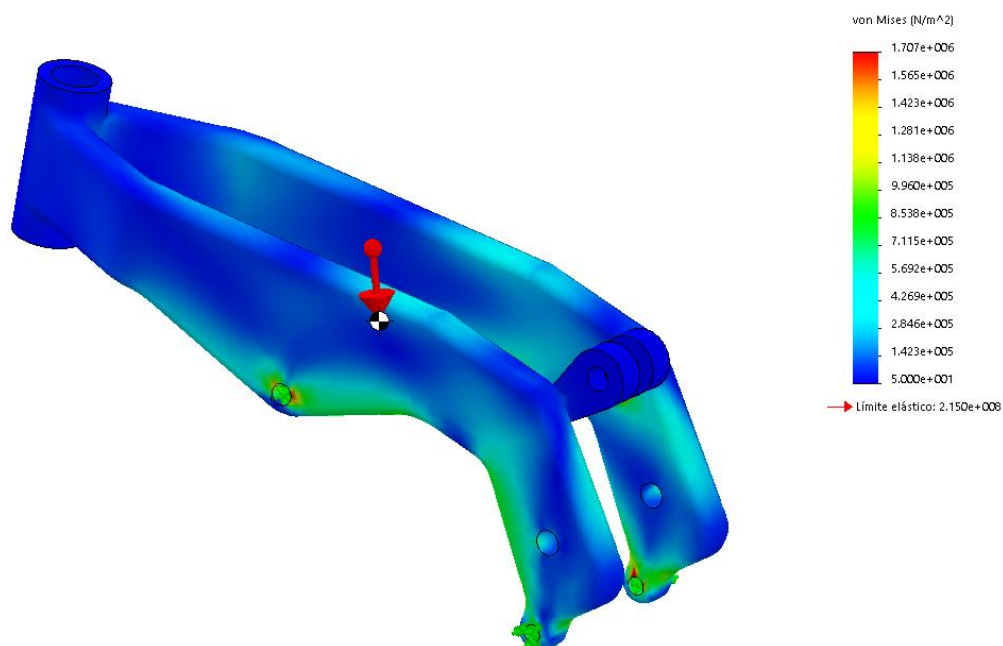


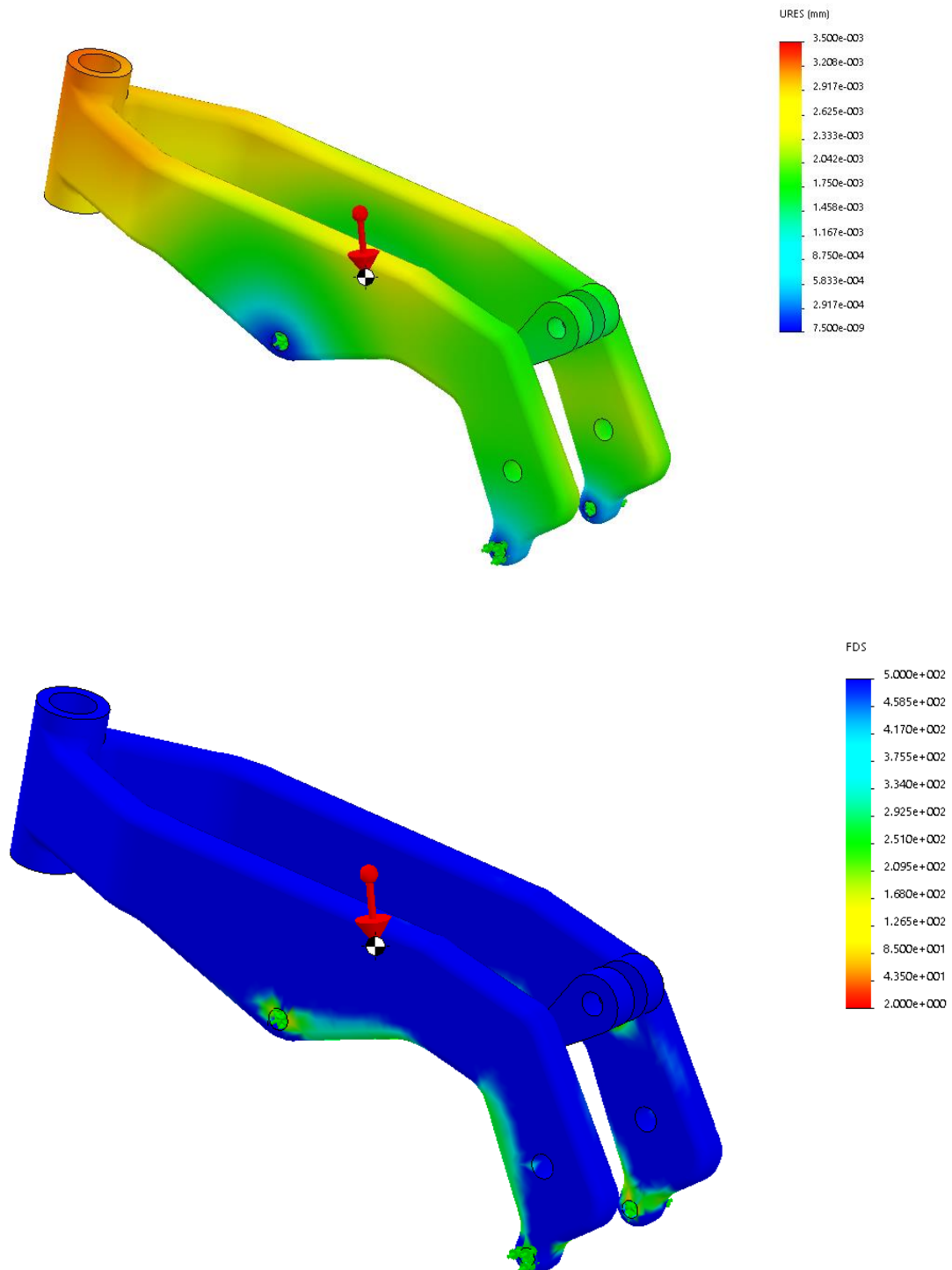


En l'anàlisi de pas de corba, els esforços a que es sotmet la part frontal del xassís, l'estat tensional de von mises compleix en tota la seva estructura un estat allunyat del seu límit elàstic, trobant a la unió de la doble biga amb la pipa de direcció el punt més crític, però igualment per sota del límit elàstic. Pel que fa als desplaçaments es pot observar el punt més crític a la zona frontal de la pipeta de direcció trobant-se aproximadament sobre els 0,069mm de desplaçament. Finalment per poder assegurar-nos del factor de seguretat s'observa l'estudi d'aquest, poden observar que te diferents punts crítics però cap d'aquest te el color vermellós extrem que indicaria un valor de FDS=2, es a dir trobant el punt més crític amb FDS=5 aproximadament el enllaç de la doble biga amb la pipa de direcció.

7.3.3 Resultats de acceleració màxima

Els resultats de l'acceleració es veuen reflectits a la part posterior del xassís que és on es transmet l'esforç entre el basculant, que d'on prové l'esforç de tracció, i el propi xassís.





En l'anàlisi d'acceleració, podem observar que tots els esforços recauen sobre la part posterior del xassís. Es un punt on es troben les forces resultats causant del moment d'acceleració màxima. Tot i això es pot veure mitjançant l'estudi de von mises que l'estructura suporta fàcilment aquesta situació, estant molt per sobre del

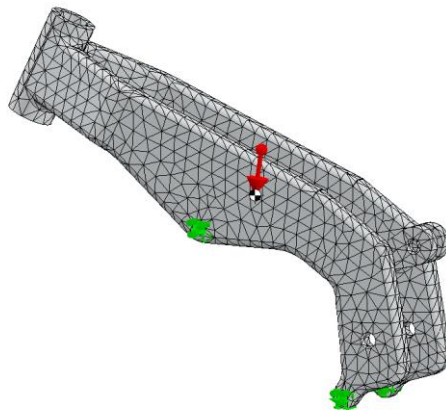
límit elàstic. Pel que fa a diagrama de desplaçaments ens trobem amb un desplaçament màxim a la zona frontal de la pipeta de 0.0032mm aproximadament i un factor de seguretat gairebé de 5 en tota l'estructura.

7.4 Anàlisis de convergència de les solucions

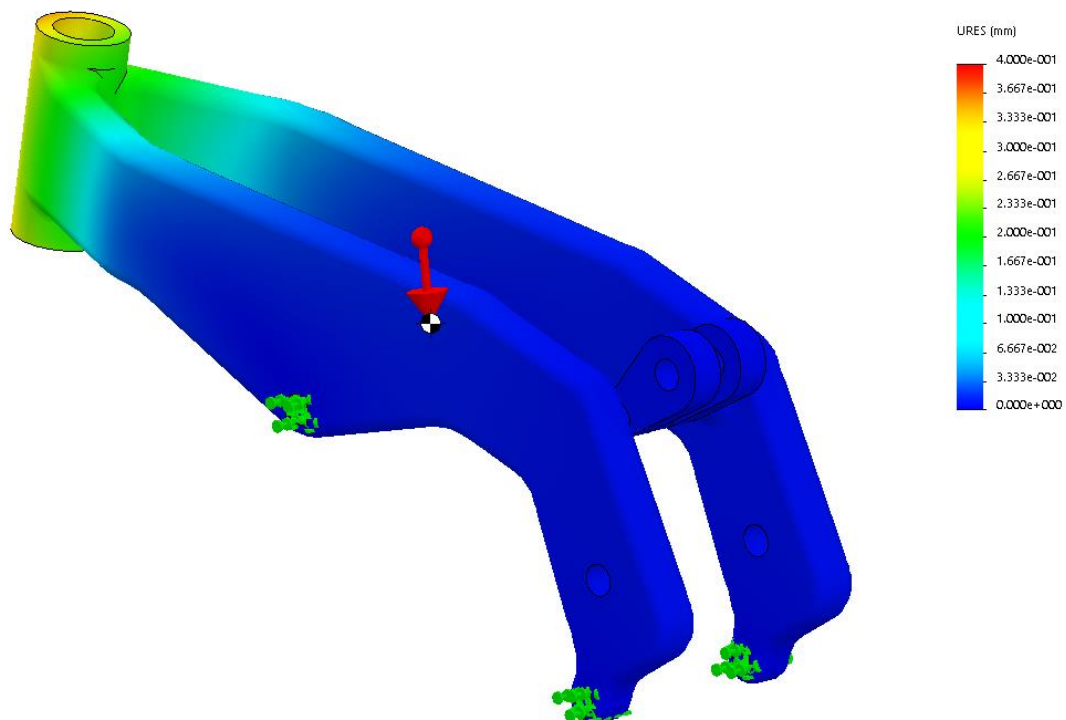
Per poder corroborar el anàlisis dels resultats utilitzarem el mètode de convergència, que consisteix en repetir la prova amb diferents dimensions de malla i comparar la magnitud de diferència de resultats en cada estat, donant per assumible una desviació d'un 3%. És realitzarà un anàlisis de convergència comparant els gràfics de desplaçaments, ja que és l'únic gràfic que te sentit alhora de poder extraure dades per aquest anàlisis. Si es dugués a terme la convergència amb el diagrama Von Mises, trobaríem dades extremes a les zones crítiques degut a concentradors de tensió, que en un zona molt concreta plastifiquen el material i després redistribueixen les tensions amb la zona ja plastificada.

7.4.1 Precisió de Malla 50%

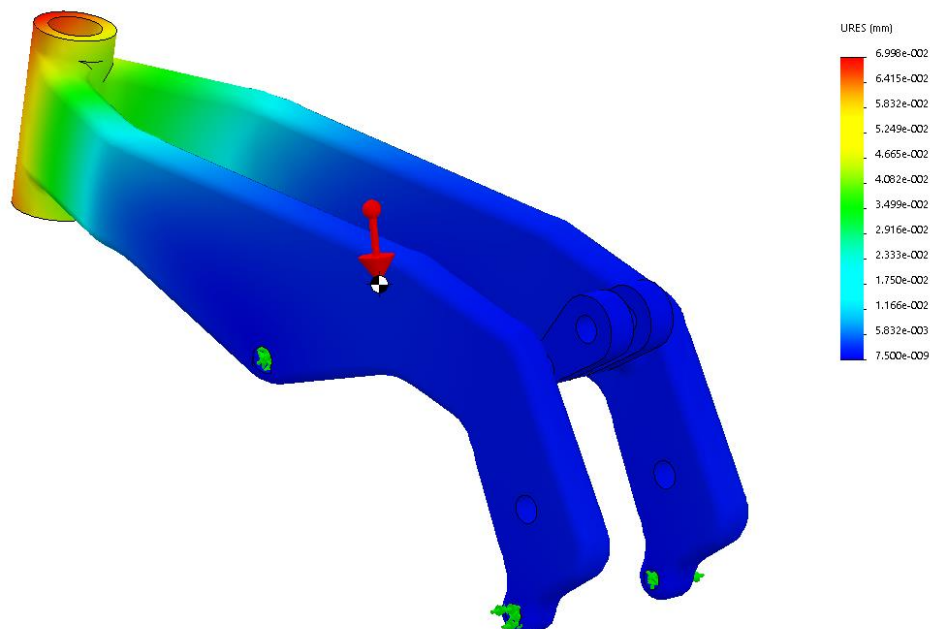
La primera convergència es produirà amb una reducció de precisió amb la dimensió de la malla d'un 50%.



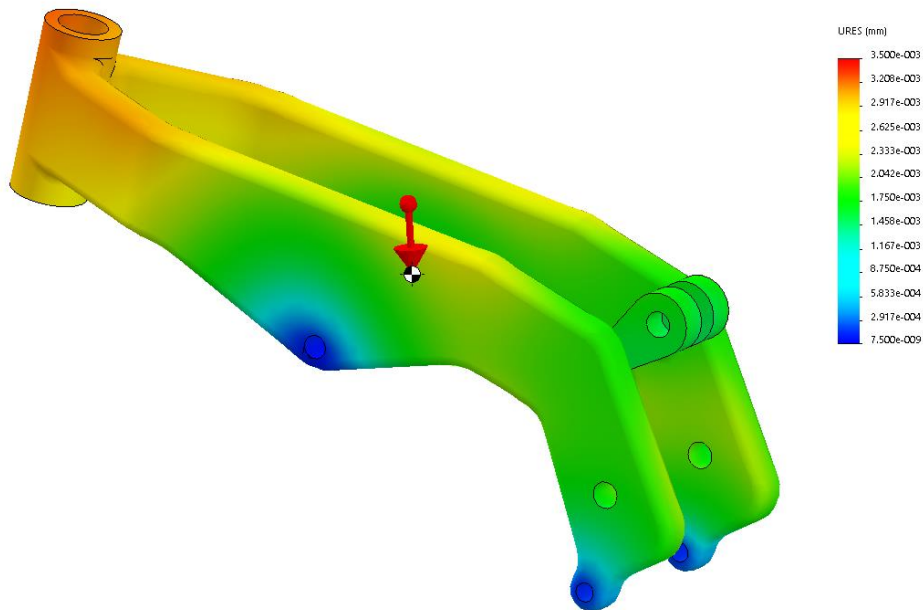
- Frenada màxima



- Pas per Corba

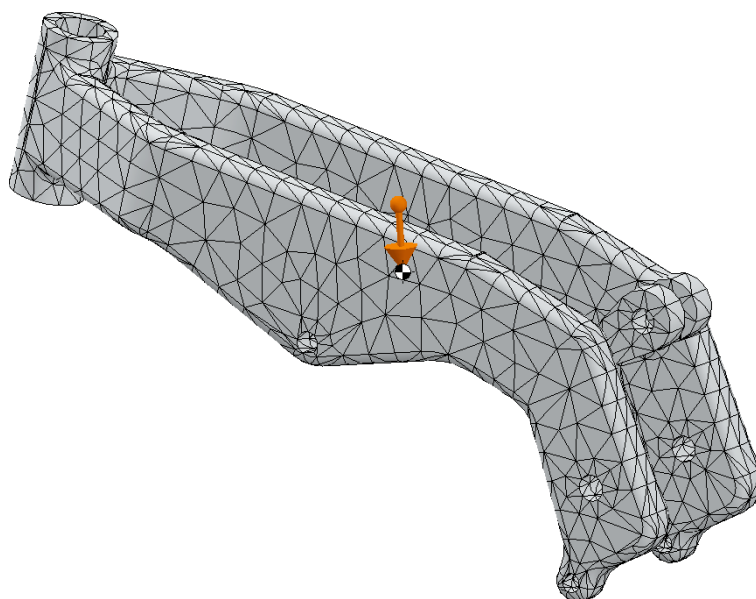


- Acceleració màxima

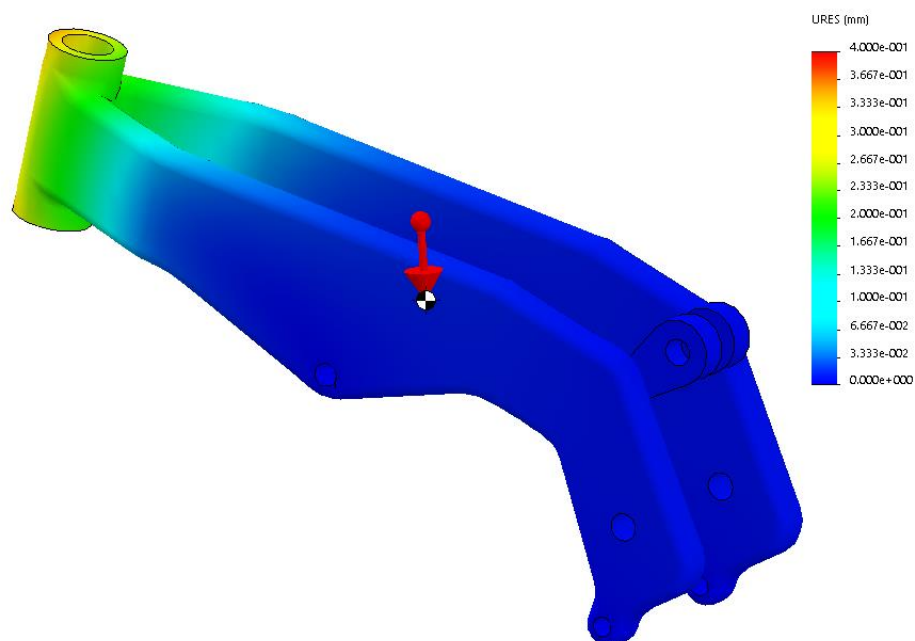


7.4.2 Precisió de Malla 25%

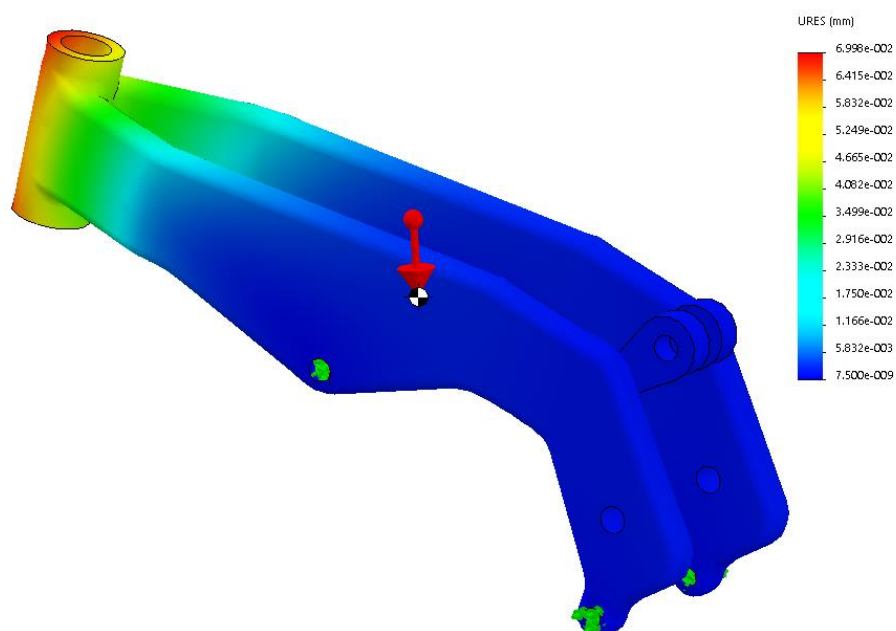
La segona convergència es produirà amb una reducció de precisió amb la dimensió de la malla d'un 25%



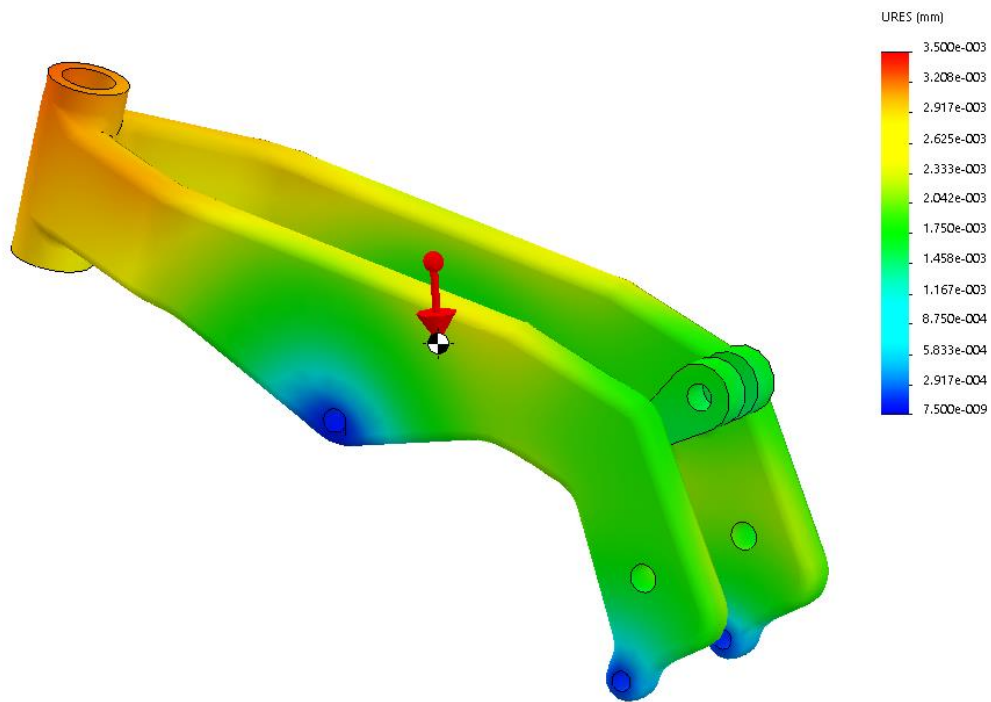
- Frenada màxima



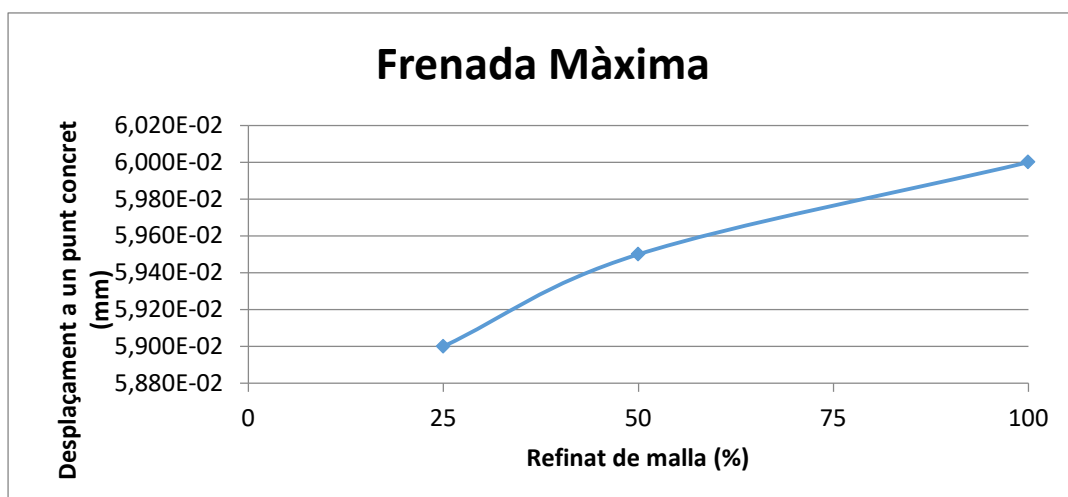
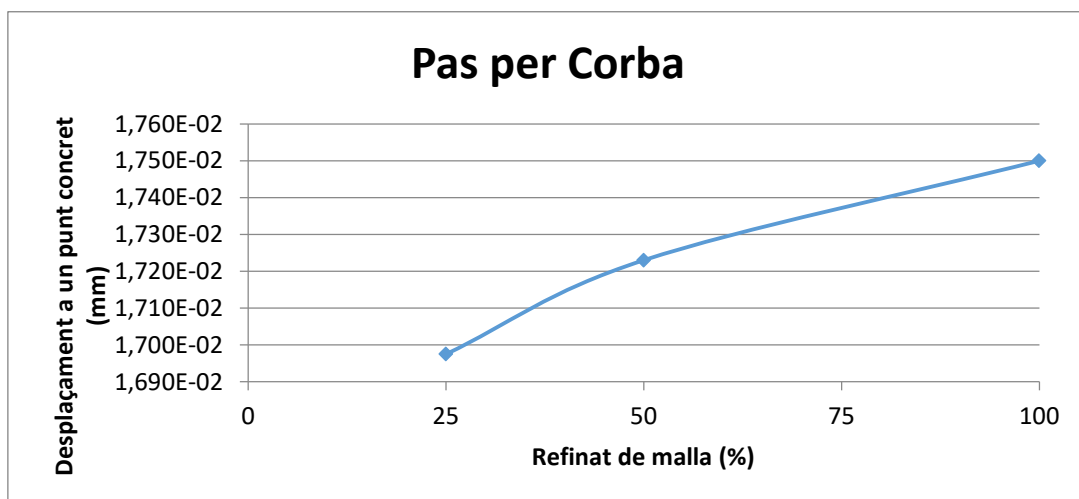
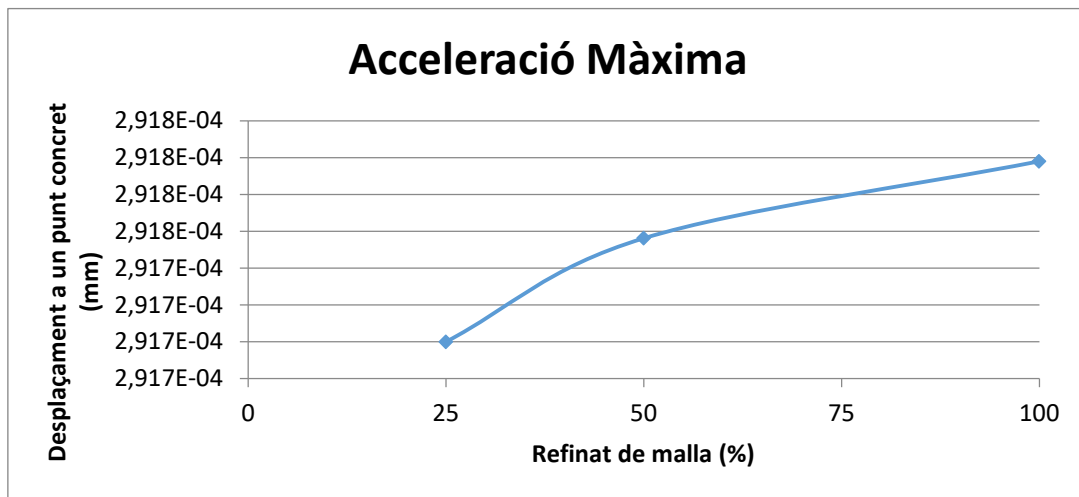
- Pas per Corba



- Acceleració màxima



	Malla	Frenada màxima	Pas per corba	Acceleració màxima
100%				
50%				
25%				



S'ha realitzat l'anàlisi de convergència comparant els diferents desplaçaments en un mateix punt, però amb diferents refinaments de malla en cada cas límit, el qual ha estat exposat el xassís.

Pel que fa aquests diferencia de desplaçaments es troben de manera gràfica bàsicament als punts on es troba el diferencial de magnitud de desplaçaments (zones de canvi de color) on la tendència sempre és la mateixa. A més refinament, mes magnitud elevada de desplaçament.

7.5 Conclusions de l'anàlisi.

Es pot observar amb l'estudi de totes les situacions, que el xassís passa de manera favorable el requisits mínims estructurals que necessita per poder ser muntat a sobre a un moto. Tant amb els estudis de Von Mises, el desplaçaments i el factor de seguretat s'han assolit xifres solides i força coherents amb la realitat. Pel que fa a l'optimització del disseny es podria fer una reducció de pes eliminant algunes zones on la massa no esta fent cap funció estructural, com també reforçar el un punt d'unió entra la pipa de direcció i la doble biga per augmentar el factor de seguretat en la frenada de la roda davantera i disminuir les tensions al diagrama de Von Mises.

Pel que fa a la comprovació dels resultats mitjançant la convergència de les diferents malles es pot veure que la tendència que segueixen és a major precisió de malla, major aproximament a punts crítics, es a dir fent un anàlisis sobre una malla de màxima precisió es disminueix els marge d'error amb el càlcul. Això es pot observar amb alguns punts on l'estudi al 100% de precisió de malla es troben amb color més vermellós que amb altres punts amb les malles de menor precisió. Veient que aquest tendència es compleix amb tota la convergència.

Tot i la realització d'aquest anàlisis mitjançant elements finits s'hauria de realitzar la construcció d'un prototip per comprovar que les hipòtesis realitzades es

compleixen a la realitat, tal com també obtenir dades amb la telemetria per optimitzar el comportament de la motocicleta amb el pilot.

8 Conclusions

Tenint en compte l'objectiu principal del projecte, es pot dir que s'han assolit de manera satisfactòria els objectius plantejats en primera instància: conèixer en profunditat l'element del xassís tant a nivell tècnic com teòric, desenvolupar un primer disseny de xassís que s'adeqüi al tipus de motocicleta que es vol aconseguir, fer un estudi mitjançant eines d'enginyeria per veure la seva viabilitat i finalment comprovar-ho amb eines de simulació.

Per dur a terme les parts esmentades anteriorment s'han tingut que utilitzar recursos treballats durant el grau amb enginyeria mecànica, des de: materials, estructures, software 3D, lectura de dades, etc. La utilització de tots aquests recursos han creat un punt d'unió i de sentit a totes les matèries que de manera separada han conclòs amb una peça estructural d'una motocicleta.

Pel que fa al resultat final del xassís, s'ha assolit una peça estructural amb una garantia molt bona referent a les sol·licitacions que pot rebre, tenint en compte el nivell de coneixements obtinguts durant el període del grau d'enginyeria. Tot i tenir un resultat molt bo del xassís, es podria realitzar un estudi iteratiu en busca d'una optimització del disseny, sempre respectant les sol·licitacions de partida.

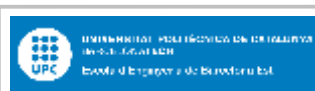
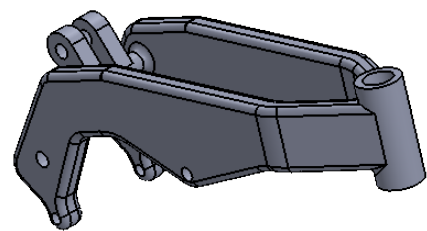
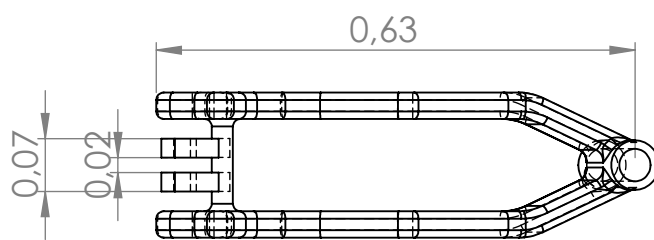
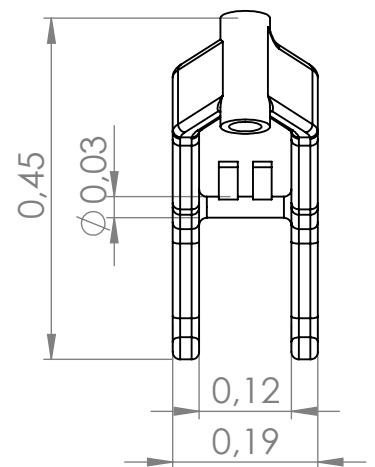
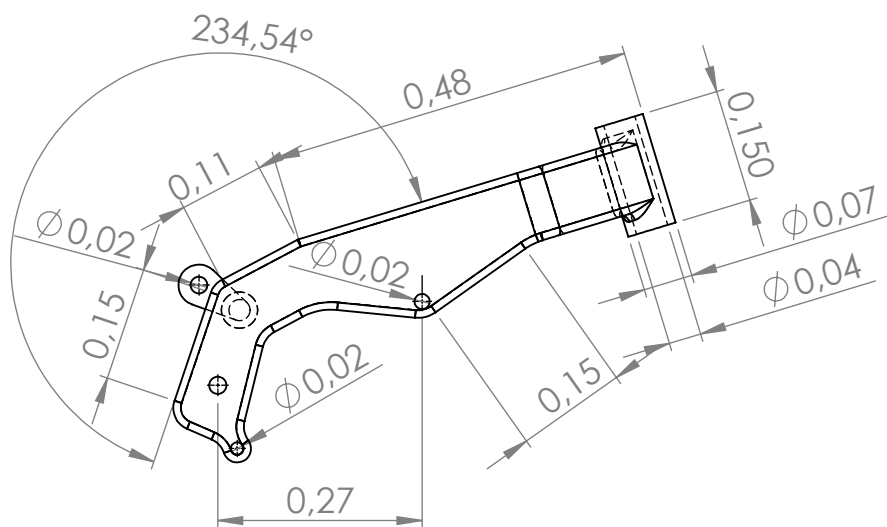
Ha estat un projecte, que com ha estudiant m'ha forçat a aprendre nous conceptes i saber buscar recursos de difícil accés, tanmateix com solucionar problemes en cada pas que donava el projecte i saber aplicar solucions útils per seguir amb el projecte i mantenir una certa coherència amb la realitat establerta inicialment.

9 Bibliografia

- [1] Tony Foale, "Motorcycle Handling and Chassis Design". Tony Foale. España, 2002.
- [2] Manuel Arias-Paz Guitián, "Motocicletas" – 33ª Edición. Dossat cie de inversiones editoriales. España, 2006.
- [3] ROBINSON, J. *Motocicletas: Chasis*, España, 1990

ANNEX I

PLÀNOL



AUTOR
Joan Marc Escudero Vericat

DATA
13/09/2017

MATERIAL:
ALUMINI 6082-T6

PLA:
GRAU ENGINYERIA MECÀNICA

REVISIÓ
Daniel Di Capua

TÍTOL TFG:
DISSENY D'UN XASSÍS DE COMPETICIÓ PER UNA MOTOCICLETA 250CC 4T

N.º DE DIBUIX
Xassís

A4

ESCALA:1:10

FULLA 1 DE 1